



GEOSSISTEMAS FERRUGINOSOS DO BRASIL

ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO DA DIVERSIDADE GEOLÓGICA
E BIOLÓGICA, PATRIMÔNIO CULTURAL E SERVIÇOS AMBIENTAIS



Organizadores:

Flávio Fonseca do Carmo & Luciana Hiromi Yoshino Kamino

FLÁVIO FONSECA DO CARMO
LUCIANA HIROMI YOSHINO KAMINO
(Orgs)



GEOSSISTEMAS FERRUGINOSOS DO BRASIL

ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO DA DIVERSIDADE GEOLÓGICA
E BIOLÓGICA, PATRIMÔNIO CULTURAL E SERVIÇOS AMBIENTAIS

Realização:



Apoio institucional:



Belo Horizonte - MG
2015





Se esta publicação “Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais” inspirou em você algum interesse de preservar este Geossistema, junte-se a nós. O Instituto Prístino convida-o a conhecer os projetos de pesquisa e as publicações. Caso tenha interesse em apoiar com doação financeira ou colaborar no desenvolvimento e/ou divulgação de pesquisas científicas acesse o nosso site:

www.institutopristico.org.br

GEOSSISTEMAS FERRUGINOSOS DO BRASIL

Áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais

Copyright © 2015 by Instituto Prístino

Produção, arte-final e projeto gráfico

3i Editora Ltda - Telefone: (31) 3335-6085

E-mail: contato@3ieditora.com.br

Homepage: www.3ieditora.com.br

Revisão

Antônio Carlos Santini

Edição de mapas

Iara Christina de Campos

Fotos

Abertura do livro: Opilião em cavidade artificial na formação ferrífera bandada, Serra da Moeda, Itabirito, MG. Foto: Augusto Gomes.

Apresentação: Interior de cavidade ferruginosa com raízes pendentes e particular beleza cênica, Serra do Rola Moça, MG. Foto: Augusto Gomes

Prefácio: Formação Ferrífera no município de Riacho dos Machados, MG: Foto: Flávio do Carmo

Lista de autores: Gotículas de água se acumulam nas delicadas raízes que se projetam no interior de uma cavidade ferruginosa, Serra do Rola Moça, MG. Foto: Augusto Gomes

Sumário: Cactos (*Discocactus placentifomis* (Lehm.) K. Schum.) endêmicos de Minas Gerais, crescendo sobre formação ferrífera, Riacho dos Machados, MG. Foto: Flávio do Carmo

Este livro ou parte dele não pode ser reproduzido por qualquer meio sem a autorização dos autores.

Os valores necessários para a publicação deste livro foram adquiridos com recursos de medida compensatória fixada em composição judicial firmada pelo Ministério Público de Minas Gerais.

FICHA CATALOGRÁFICA

G346 Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais / organizado por Flávio Fonseca do Carmo e Luciana Hiromi Yoshino Kamino. — Belo Horizonte : 3i Editora, 2015.

552 p. il.

ISBN 978-85-66115-48-2

1. Diversidade biológica - Brasil. 2. Recursos naturais - conservação - Brasil.
I. Carmo, Flávio Fonseca do. II. Kamino, Luciana Hiromi Yoshino. III. Título.

CDU 577.4(81)

Elaborada por Rinaldo de Moura Faria

CRB-6 nº 1006

AGRADECIMENTOS

Este livro “Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais” é o resultado direto da colaboração inestimável de 54 renomados pesquisadores, e suas respectivas instituições nacionais e internacionais, que contribuíram como autores ou revisores técnicos dos 19 capítulos.

Agradecemos ao Ministério Público de Minas Gerais, através do Núcleo de Resolução de Conflitos Ambientais – NUCAM e da Promotoria Estadual de Defesa do Patrimônio Cultural e Turístico do Estado de Minas Gerais pelo apoio institucional. Acreditamos que esse apoio ratifica nosso objetivo de socializar o conhecimento, ação fundamental para que a sociedade possa reconhecer a importância ambiental dos geossistemas ferruginosos.

Agradecemos aos colegas dos setores técnico, financeiro e administrativo do Instituto Prístino pelo acompanhamento do projeto.

A todos que dedicaram uma parte do seu tempo e acreditaram na importância desta obra, agradecemos e dedicamos este trabalho.



Apresentação

Prof. Dr. André Augusto Rodrigues Salgado - Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais - Presidente da União de Geomorfologia Brasileira

Os geossistemas ferruginosos podem ser considerados como um dos ambientes naturais mais singulares e importantes da superfície terrestre. Entretanto, se enquadram também na lista dos ambientes de maior importância econômica e de uso mais conflitivo. Esta afirmação se sustenta no fato de que, embora recubram pequena percentagem da superfície terrestre, são, ao mesmo tempo, ambientes de profunda importância tanto econômica, quanto natural. E estas importâncias são conflitivas: a extração do minério de ferro termina por destruir ou degradar enormemente o relevo, a paisagem, a capacidade de recarga dos aquíferos, a biodiversidade, em suma, toda a geodiversidade dos geossistemas ferruginosos. Entretanto, o fato mais preocupante é que apesar dessa enorme importância ambiental e econômica, bem como do conflito entre essas importâncias, os geossistemas ferruginosos estão entre os ambientes naturais menos estudados do mundo. Além disso, as poucas pesquisas se encontram muito mal distribuídas, pois as de cunho geológico superam em muito as de cunho ecológico, biológico, geomorfológico, ambiental e etc. Esse problema se torna ainda mais grave quando se observa a ausência de trabalhos síntese que procurem compreender os geossistemas ferruginosos em seu todo.

Na verdade a última frase do parágrafo anterior deve ser revista: Não ocorre mais uma ausência de trabalhos de síntese acerca dos geossistemas ferruginosos. O livro aqui apresentado veio justamente cobrir essa lacuna. E a cobre de forma competente: são 19 excelentes capítulos escritos por 54 renomados pesquisadores que abarcam tanto os aspectos geológicos quanto, entre outros, os ecológicos, botânicos, geomorfológicos, ambientais e geoespeleológicos dos geossistemas ferruginosos. Uma obra que, sem nenhuma dúvida, se tornará referência nesse tema e impulsionará novos estudos e pesquisas. Os Geossistemas Ferruginosos agradecem pelo surgimento desse livro: Uma grave lacuna científica começa a ser preenchida!

Por fim, sinto-me no dever de redigir algumas poucas palavras sobre os organizadores dessa obra: Flávio Fonseca do Carmo é formado em Biologia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), tendo mestrado e doutorado nessa mesma universidade dentro do Programa de Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre. Já Luciana Hiromi Yoshino Kamino é também bióloga pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), mas realizou, ainda nessa universidade, seu mestrado e doutorado no Programa de Biologia Vegetal. Posso afirmar também que ambos, ao longo de suas carreiras, se transformaram em competentes biogeógrafos. E a Biogeografia é um ramo do saber muito importante, mas também muito carente de bons profissionais. E foi a longa prática dessa biogeografia nos Geossistemas Ferruginosos que os fez verificar a necessidade de organizar uma obra que sintetizasse os conhecimentos científicos existentes sobre esses sistemas. E, permitam-me a opinião, fico feliz que tenha ocorrido assim, pois bons livros costumam a surgir dessa maneira, ou seja, como resultado do amadurecimento científico/prático de bons e honestos pesquisadores que, graças a esse amadurecimento, enxergam lacunas no saber que permaneciam despercebidas ou que ninguém tinha coragem de enfrentar.

Em suma: Caro leitor, você está em boas mãos! E possui diante de si uma obra inédita pelo seu poder de síntese de tema tão importante e tão pouco estudado. Boa leitura!



Prefácio

Carlos Eduardo Ferreira Pinto - Coordenador Geral das Promotorias de Justiça do Meio Ambiente de Minas Gerais

A extrema importância dos geossistemas ferruginosos, em seus mais diversos aspectos, já é bastante conhecida pela ciência. Além da diversidade e singularidade florística e faunística e dos patrimônios espeleológico, paleontológico e arqueológico associados, essas formações, oriundas de processos específicos que evoluíram por bilhões de anos, prestam serviços ambientais da mais alta relevância para a sociedade, dentre os quais se destaca a produção de água de pureza única.

Verifica-se, no entanto, que ainda existe desconhecimento público geral dessa importância. Tal situação, agregada aos grandes interesses econômicos de exploração das reservas de minério de ferro, explicam a ausência absoluta de uma política pública efetiva de conservação dessas formações, que encontram-se em elevado grau de ameaça. Os danos ambientais provocados pela mineração e outras atividades antrópicas aos geossistemas ferruginosos são quase sempre de natureza irreversível, sendo inviável sua reparação.

Diante do quadro colocado, foi com grande satisfação que recebi o convite dos caros amigos Flávio Fonseca do Carmo e Luciana Hiromi Yoshino Kamino, organizadores da presente obra, para elaborar seu prefácio. É da mais alta hierarquia a produção e publicação de conhecimento científico qualificado e independente em prol do equilíbrio ambiental e da salvaguarda dos direitos das presentes e futuras gerações. O conhecimento profundo dos geossistemas ferruginosos remanescentes e de seus atributos únicos é instrumento indispensável à criação e integração de normas e ferramentas de proteção.

É uma honra para o Ministério Público de Minas Gerais participar do lançamento da obra. Parabens todos os seus autores, com a certeza de que a publicação espelhará o zelo profissional dos seus organizadores e do Instituto Prístino e se tornará referência na efetivação da conservação.



Lista de autores

Adriana Takahasi

Laboratório de Botânica, Campus Pantanal,
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.
dritaka@ibest.com.br

Aianã Pereira

Departamento de Botânica,
Universidade Federal de Viçosa.
aianafsp@gmail.com

Alessandra Marins

Departamento de Entomologia, Universidade
Federal de Viçosa.
alemarins@gmail.com

Alice F. Kumagai

Departamento de Zoologia,
Universidade Federal de Minas Gerais.
acfk@icb.ufmg.br

Andrea Siqueira Carvalho

Universidade Federal Rural da Amazônia.
andrea.siqueira@ufra.edu.br

Ataliba Coelho

Instituto do Carste e
Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas.
atalibacoelho@gmail.com

Augusto Milagres e Gomes

Laboratório de Ecologia e Conservação,
Universidade Federal de Minas Gerais.
augustomilagres@gmail.com

Carlos Ernesto G. R. Schaefer

Departamento de Solos,
Universidade Federal de Viçosa.
reyschaefer@yahoo.com.br

Carlos Magno Guimarães

Departamento de Antropologia e Arqueologia da
Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas,
Universidade Federal de Minas Gerais.
carlosmagnoguimaraes@yahoo.com.br

Claudia Maria Jacobi

Laboratório de Interação Animal-Planta,
Departamento de Biologia Geral, Universidade
Federal de Minas Gerais. jacobi@icb.ufmg.br

Colin J. Yates

Science and Conservation Division, Department
of Parks and Wildlife, Western Australian.
colin.yates@dpaw.wa.gov.au

David Coates

Science and Conservation Division, Department
of Parks and Wildlife, Western Australian.
dave.coates@dpaw.wa.gov.au

Diego Hoffmann

Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas,
Universidade Federal do Espírito Santo.
diego_hoffmann@hotmail.com

Elpídio Fernandes Filho

Departamento de Solos,
Universidade Federal de Viçosa.

Evandro Moraes da Gama

Departamento de Engenharia de Minas,
Universidade Federal de Minas Gerais.
evandroagama@gmail.com

Évelin Luciana Malaquias Nascimento

Museu de História Natural e Jardim Botânico,
Universidade Federal de Minas Gerais.
elmnascimento@yahoo.com.br

Fabiana A. Mourão

Laboratório de Interação Animal-Planta,
Universidade Federal de Minas Gerais.
fabimourao@gmail.com

Fernanda Cristina Rodrigues de Souza

Gestão de Informação e
Geoprocessamento, Instituto Prístino.
fernanda.pristino@gmail.com

Felipe Fonseca do Carmo

Pesquisa e Desenvolvimento de Projetos,
Instituto Prístino.
felipe.pristino@gmail.com

Flávio Fonseca do Carmo

Pesquisa e Desenvolvimento de Projetos,
Instituto Prístino.
flavio@pristino.org.br

Francisco Sekiguchi Buchmann

Laboratório de Estratigrafia e Paleontologia,
Universidade Estadual Paulista.
buchmann@clp.unesp.br

Frederico Drumond Martins

Floresta Nacional de Carajás, Instituto Chico
Mendes de Conservação da Biodiversidade.
frederico.martins@icmbio.gov.br

Germano Pereira Matias

Departamento de Engenharia de Minas,
Universidade Federal de Minas Gerais.
germanopmatias@gmail.com

Guilherme Resende Corrêa

Faculdade de Artes, Filosofia e Ciências Sociais,
Instituto de Geografia, Universidade Federal
de Uberlândia.
guilhermeudi@yahoo.com.br

Heinrich Theodor Frank

Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
heinrich.frank@ufrgs.br

Hugo Galvão Cândido

Universidade Federal de Viçosa,
Programa de Pós Graduação de Botânica.
hugogalvaocandido@gmail.com

Iara Christina de Campos

Gestão de Informação e Geoprocessamento,
Instituto Prístino.
iara.pristino@gmail.com

Igor Moraes Mariano Rodrigues

Museu de História Natural e Jardim Botânico,
Universidade Federal de Minas Gerais.
igor_mmrodrigues@hotmail.com

Jaquelina Alves Nunes

Universidade do Estado de Minas Gerais
unidade Carangola
jaquelinabiologa@yahoo.com.br

João Augusto Madeira

Coordenação de Gestão de Conflitos
Territoriais/DISAT, Instituto Chico Mendes de
Conservação da Biodiversidade.
joao.madeira@icmbio.gov.br

João Carlos Ker

Departamento de Solos,
Universidade Federal de Viçosa
jcker@ufv.br

José Carlos R. Reino

Centro Nacional de Pesquisa e Conservação
de Cavernas, Instituto Chico Mendes de
Conservação da Biodiversidade.
jose.reino@icmbio.gov.br

José Luís dos Santos Peixoto

Campus Pantanal, Universidade
Federal de Mato Grosso do Sul.
jose.peixoto@ufms.br

Katia Torres Ribeiro

Coordenação Geral de Pesquisa e Monitoramento/
DIBIO, Instituto Chico Mendes de Conservação da
Biodiversidade.
katia.ribeiro@icmbio.gov.br

Leonardo Henrique Dias da Silva

Laboratório de Ecologia do Mutualismo,
Universidade Federal de Minas Gerais.
leohenriqueds@gmail.com

Leonardo Vianna C. Silva

Biólogo autônomo.
leoviannacs@gmail.com

Luciana H. Yoshino Kamino

Pesquisa e Desenvolvimento de Projetos,
Instituto Prístino.
luciana@pristino.org.br

Luís B. Piló

Instituto do Carste e
Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas.
lpilo7@gmail.com

Luís Cláudio Pereira Symanski

Departamento de Antropologia e Arqueologia da
Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas,
Universidade Federal de Minas Gerais.
lcsymanski@yahoo.com.br

Marcelo Ferreira de Vasconcelos

Museu de Ciências Naturais,
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
mfvasconcelos@pucminas.br

Marconi Souza Silva

Centro de Estudos em Biologia Subterrânea,
Universidade Federal de Lavras.
marconisilva@dbi.ufla.br

Marcos André Torres de Souza

Departamento de Antropologia e Arqueologia da
Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas,
Universidade Federal de Minas Gerais.
torresdesouza@yahoo.com

Marcus Paulo Alves de Oliveira

Departamento de Biologia,
Universidade Federal de Lavras.
marcus@bioespeleo.com.br

Maria Cristina Teixeira Braga Messias

Departamento de Biodiversidade,
Evolução e Meio Ambiente,
Universidade Federal de Ouro Preto.
cristina@iceb.ufop.br

Nara Furtado de Oliveira Mota

Museu Paraense Emílio Goeldi.
bhznara@yahoo.com.br

Neil Gibson

Science and Conservation Division, Western
Australian Department of Parks and Wildlife.
neil.gibson@dpaw.wa.gov.au

Og Francisco Souza

Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Viçosa
og.souza@ufv.br

Pedro Laje Viana

Museu Paraense Emílio Goeldi.
vianapl@yahoo.com.br

Roberth Fagundes

Laboratório de Ecologia Evolutiva, Universidade Federal de Ouro Preto.
roberthbio@yahoo.com.br

Rodrigo Lopes Ferreira

Centro de Estudos em Biologia Subterrânea, Universidade Federal de Lavras.
drops@dbi.ufla.br

Rogério Tobias Junior

Museu de História Natural e Jardim Botânico, Universidade Federal de Minas Gerais.
rogeriotobias@oi.com.br

Stephen van Leeuwen

Science and Conservation Division, Western Australian Department of Parks and Wildlife.
stephen.vanleeuwen@dpaw.wa.gov.au

Úrsula Ruchkys de Azevedo

Departamento de Cartografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.
tularuchkys@yahoo.com.br

Valéria da Cunha Tavares

Laboratório de Mastozoologia, Universidade Federal de Minas Gerais.
val.c.tavares@gmail.com

Vitor Ferreira

Sul Americana de Metais.
vitor.ferreira@sammetais.com.br

Yasmine Antonini

Laboratório de Biodiversidade, Evolução e Meio Ambiente, Universidade Federal de Ouro Preto.
antonini@iceb.ufop.br

Lista de revisores

Adriano Paglia

Departamento de Biologia Geral,
Universidade Federal de Minas Gerais.
apaglia@icb.ufmg.br

Claudia Maria Jacobi

Departamento de Biologia Geral,
Universidade Federal de Minas Gerais.
jacobi@icb.ufmg.br

Fernanda Cristina Rodrigues de Souza

Gestão de Informação e Geoprocessamento,
Instituto Prístino.
fernanda.pristino@gmail.com.

Flávio Fonseca do Carmo

Pesquisa e Desenvolvimento de Projetos,
Instituto Prístino.
flavio@pristino.org.br

Iona'i Ossami de Moura

Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de
Biodiversidade e Florestas.
ionai.moura@mma.gov.br

Julio Lombardi

Departamento de Botânica, Instituto de Biociências
de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista
cissus@rc.unesp.br

Luciana H. Yoshino Kamino

Pesquisa e Desenvolvimento de Projetos,
Instituto Prístino.
luciana@pristino.org.br

Luís Fábio Silveira

Museu de Zoologia da
Universidade de São Paulo
lfs@usp.br

Marcelo Fagundes

Núcleo de Geociências,
Laboratório de Arqueologia e Estudo da
Paisagem, Campus JK, Universidade Federal dos
Vales do Jequitinhonha e Mucuri
marcelo.fagundes@ufvjm.edu.br

Maria Antonieta A. Mourão

CPRM - Serviço Geológico do Brasil
maria.antonieta@cprm.gov.br

Paulo de Tarso Amorim Castro

DEGEO, Campus do Morro do Cruzeiro.
Universidade Federal de Ouro Preto
ptacastro@gmail.com

Renata de Andrade

Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas.
reandrad@gmail.com



Sumário

7
Agradecimentos

9
Apresentação

11
Prefácio

13
Lista de
autores

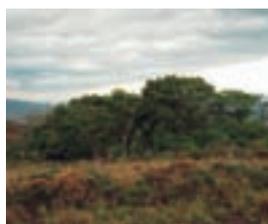
17
Lista de
revisores

23
Introdução

47
Geossistemas
Ferruginosos no Brasil



77
Solos Desenvolvidos
sobre Canga
Ferruginosa no Brasil:
Uma Revisão Crítica e
Papel Ecológico de
Termiteiros



103
Hidrogeologia e os
Geossistemas
Ferruginosos



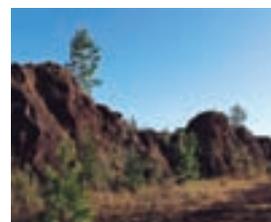
125
Geoespeleologia em
Rochas Ferríferas:
 Cenário Atual e
Conservação



149
Paleotocas
Desenvolvidas em
Rochas Ferríferas:
Importante Registro
da Megafauna no
Norte de Minas Gerais



169
Sítios Geológicos e
Propostas Brasileiras
de Geoparques em
Geossistemas
Ferruginosos



195

Biodiversidade Subterrânea em Geossistemas Ferruginosos



289

Vegetação sobre Sistemas Ferruginosos da Serra dos Carajás



361

Hot, Dry and Ancient: Banded Iron Formations of Western Australia



233

Morcegos Associados à Ecosistemas Ferruginosos de Minas Gerais



317

Flora das Cangas de Corumbá, Ms: Diversidade e Conservação



411

Interações Ecológicas em Ambientes de Canga do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais



259

Avifauna das Vegetações Abertas e Semiabertas Associadas à Geossistemas Ferruginosos do Brasil: Levantamento, Conservação e Perspectivas para Futuros Estudos



335

Flora e Vegetação em Substratos Ferruginosos do Sudeste do Quadrilátero Ferrífero



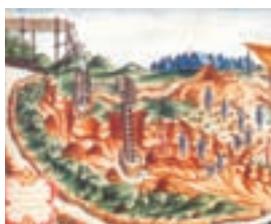
429

Contexto Arqueológico e Longa Duração nas Serras do Paraopeba, Negra e do Itabira, MG



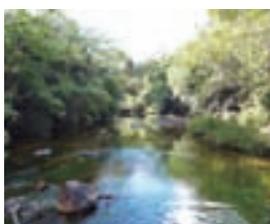
465

A Escravidão e o Ferro: Metalurgia, Arqueologia e Patrimônio (Séculos XVIII – XIX)



497

Vale do Peixe Bravo: Área Prioritária para a Conservação dos Geossistemas Ferruginosos no Norte de Minas Gerais



487

Petróglifos nas Bancadas Lateríticas de Corumbá, MS



521

Geossistemas Ferruginosos e Áreas Protegidas



544

Considerações Finais



Introdução



Flávio Fonseca do Carmo & Luciana Hiromi Yoshino Kamino

Geossistemas ferruginosos

Os geossistemas ferruginosos caracterizam-se pela elevada geodiversidade, heterogeneidade ambiental e por uma complexa evolução de uma das mais antigas superfícies expostas do planeta, fatores estes reconhecidos por favorecerem o desenvolvimento e a manutenção da biodiversidade (Trendall & Morris, 1983; Monteiro *et al.*, 2014; Salgado & Carmo, 2015). No Brasil, os principais geossistemas ferruginosos estão contidos em áreas estratégicas para a conservação da biodiversidade e dos recursos naturais (MMA, 2008; Jacobi *et al.*, 2015). Essas áreas estão representadas por dois dos 34 *hotspots* mundiais de biodiversidade (Mittermeier *et al.*, 2004): Mata Atlântica e Cerrado; e por três das 37 regiões consideradas como “as últimas grandes áreas silvestres da Terra” (Mittermeier *et al.*, 2002): Floresta Amazônica, Pantanal e a Caatinga (Fig. 1).

As bases da teoria geossistêmica utilizou elementos da Teoria Geral dos Sistemas, proposta pelo biólogo Ludwig von Bertalanffy (1950). A Teoria geossistêmica apresenta uma metodologia interessante não apenas para a delimitação geográfica de certas áreas, como também é bastante adequada para diagnosticar possíveis impactos causados por ação humana. Para a elaboração deste livro, foi adotado como sistema de modelo de paisagem aquele correspondente aos elementos geográficos e sistêmicos, os quais são formados por atributos e fatores abióticos, bióticos e antrópicos (Rosolém & Archela, 2010).

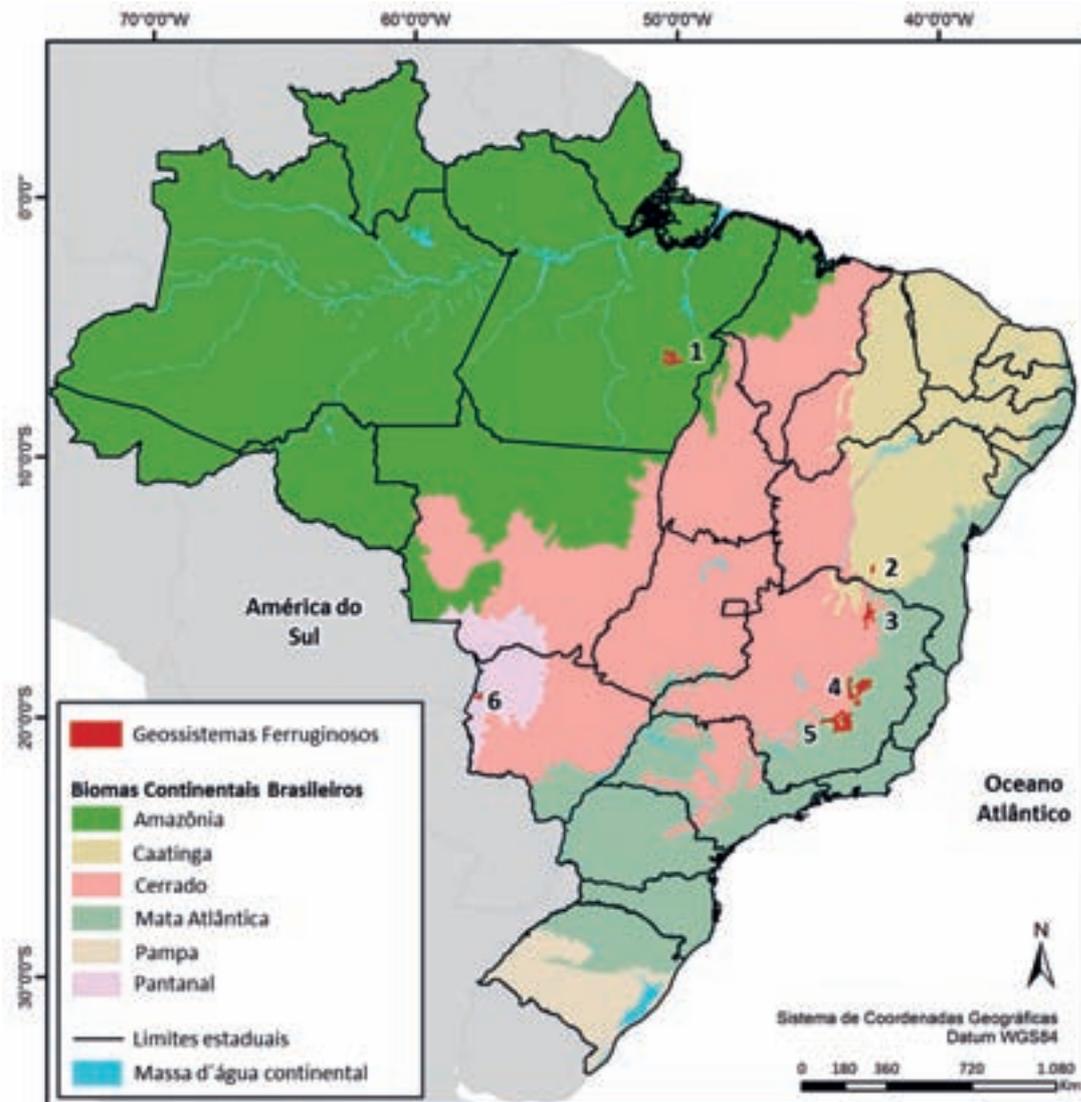


Figura 1 - Os principais geossistemas ferruginosos no Brasil ocorrem: 1) Serra dos Carajás - PA; 2) Caetité - BA; 3) Vale do Rio Peixe Bravo - MG; 4) Bacia do Rio Santo Antônio - MG; 5) Quadrilátero Ferrífero - MG; e 6) Morraria de Urucum - MS.

Uma característica notável dos geossistemas ferruginosos é a antiguidade e a diversidade de suas rochas constituintes. Esses temas foram abordados principalmente nos Capítulos: 1 - Geossistemas Ferruginosos no Brasil; 6 - Sítios geológicos e propostas brasileiras de geoparques em Geossistemas Ferruginosos e 13 - *Hot, dry and ancient: Banded Iron Formations of Western Australia*.

A elevada geodiversidade reflete diretamente nos inúmeros termos utilizados para designar as rochas ferríferas, como por exemplo: os ferricretes, os itabiritos e os jaspilitos (ambos Formações Ferríferas Bandadas); e alguns termos adotados na literatura internacional: *duricrusts*, *hardpans*, *ironstones* e *orecretts*. Para além dessa miríade de substantivos, um ponto em comum entre os geossistemas ferruginosos é a beleza cênica da paisagem (Fig. 2).



Figura 2 - Acima: Pico do Itatiaiuçu, formado por imensos “blocos” de itabirito, Quadrilátero Ferrífero (MG). Abaixo: Geossistema ferruginoso localizado na Morraria de Urucum (MS). Em primeiro plano um afloramento de formação ferrífera bandada. Fotos: Flávio do Carmo.

Da perspectiva de utilização de recursos naturais, sobressai tanto a ocorrência das maiores reservas mundiais de minério de ferro (Capítulo 1 - Geossistemas Ferruginosos no Brasil), quanto os serviços ecossistêmicos vitais para a sociedade, como as reservas hídricas estratégicas que podem conter bilhões de metros cúbicos de água (Capítulos 3 - Hidrogeologia e os Geossistemas Ferruginosos e 18 - O Vale do Peixe Bravo: área prioritária para a conservação dos Geossistemas Ferruginosos no norte de Minas Gerais).

Nos geossistemas do Quadrilátero Ferrífero, localizado na região metropolitana de Belo Horizonte (MG), as couças de cangas funcionam como importantes áreas de recarga hídrica dos principais aquíferos que estão na Formação Geológica Cauê, que, por sua vez, é constituída pelas formações ferríferas bandadas (Fig. 3). Nesta unidade hidrogeológica estão associadas milhares de nascentes, algumas com vazões que alcançam 500 m³/h (Beato *et al.*, 2006). De acordo com Silva (2001), as altas taxas de porosidade e permeabilidade das cangas são fundamentais para os processos hidrogeológicos:

“A canga é importante na relação atmosfera/crosta, porque não desenvolve linhas de drenagem acentuadas, devido à alta rugosidade da cimentação limonítica e da macroporosidade resultante da sua gênese. A consequência será a alta taxa de transferência da água da atmosfera para a subsuperfície, motivo pelo qual o solo recoberto é notavelmente úmido ou saturado. As argilas porosas vermelhas também têm sua grande importância na captura da umidade. Em ambas as formações, cangas e argilas porosas, a saturação é propiciada pela conjunção do clima, entendendo-se clima como as condições de temperatura e umidade, que são os fatores geradores da argilomineralização, versus tempo geológico.”

Por que este livro é fundamental?

O cenário atual do conhecimento produzido sobre os geossistemas ferruginosos destaca a importância e a contribuição da presente publicação. Em levantamento realizado aos periódicos científicos indexados na biblioteca virtual SciELO (2015) e no Portal de Periódicos CAPES (2015) foram encontrados 189 artigos científicos publicados entre 1962 e 2015 (ver material suplementar). Para a busca dos artigos foram utilizadas as seguintes palavras ou expressões-chave: canga, *ironstone*, ferricrete, *duricrust*, *hardpans*, itabirito, formação ferrífera bandada, *banded iron formation*, *BIF*.

A distribuição geográfica dessa produção científica está concentrada em quatro países (Tabela 1): a maior frequência dos estudos foi desenvolvida no Brasil (57 artigos), seguida pela Austrália (32 artigos) e pela China e Estados Unidos (11 artigos cada). A maior parte do conhecimento foi gerada a partir do ano 2000, portanto é muito recente, e está concentrada na grande área *Geologia* (77%), seguida por estudos sobre *Biologia* (22%) e por um estudo de *Socioeconomia*. Analisando os estudos por disciplina, verificamos que a Geologia e a Geoquímica corresponderam a 81% das publicações da grande área *Geologia*, e as disciplinas Ecologia e Botânica representaram 64% das publicações sobre *Biologia* (Fig. 4).

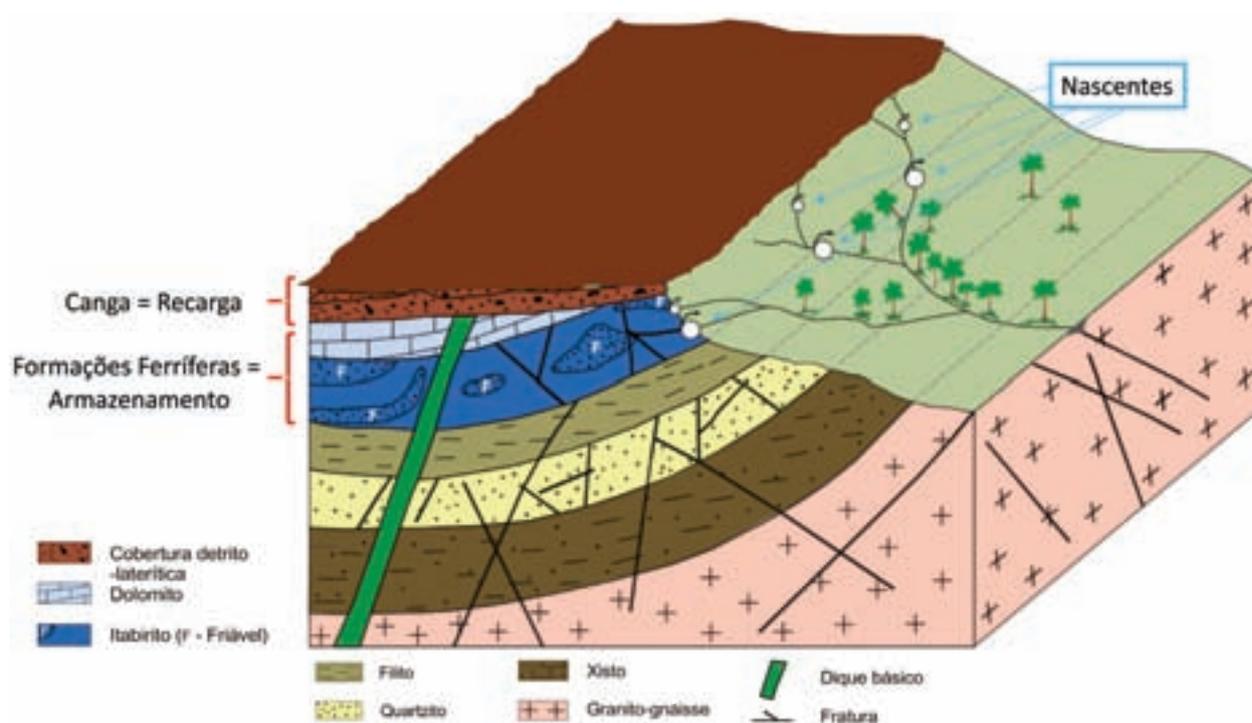


Figura 3 - Modelo de sistema aquífero itabirítico. Adaptado de Beato *et al.* (2006).

Tabela 1 – Países de origem dos 189 estudos publicados entre 1962 e 2015 em revistas indexadas na biblioteca virtual SciELO (2015) e no Portal de Periódicos CAPES (2015).

País	Número de artigos
Brasil	57
Austrália	32
Estados Unidos	11
China	11
África do Sul	8
Inglaterra	8
Índia	7
Egito	6
Nigéria	4
República Centro-Africana	4
Camarões	3
França	3
Bolívia	2
Canadá	2
Itália	2
Iraque	2
Outros*	27
Total	189

*Alemanha, Argélia, Argentina, Costa do Marfim, Escócia, Groenlândia, Hungria, Paquistão, República do Mali, Rússia, Serra Leoa, Sudão, Ucrânia, Uruguai e Zimbábue.

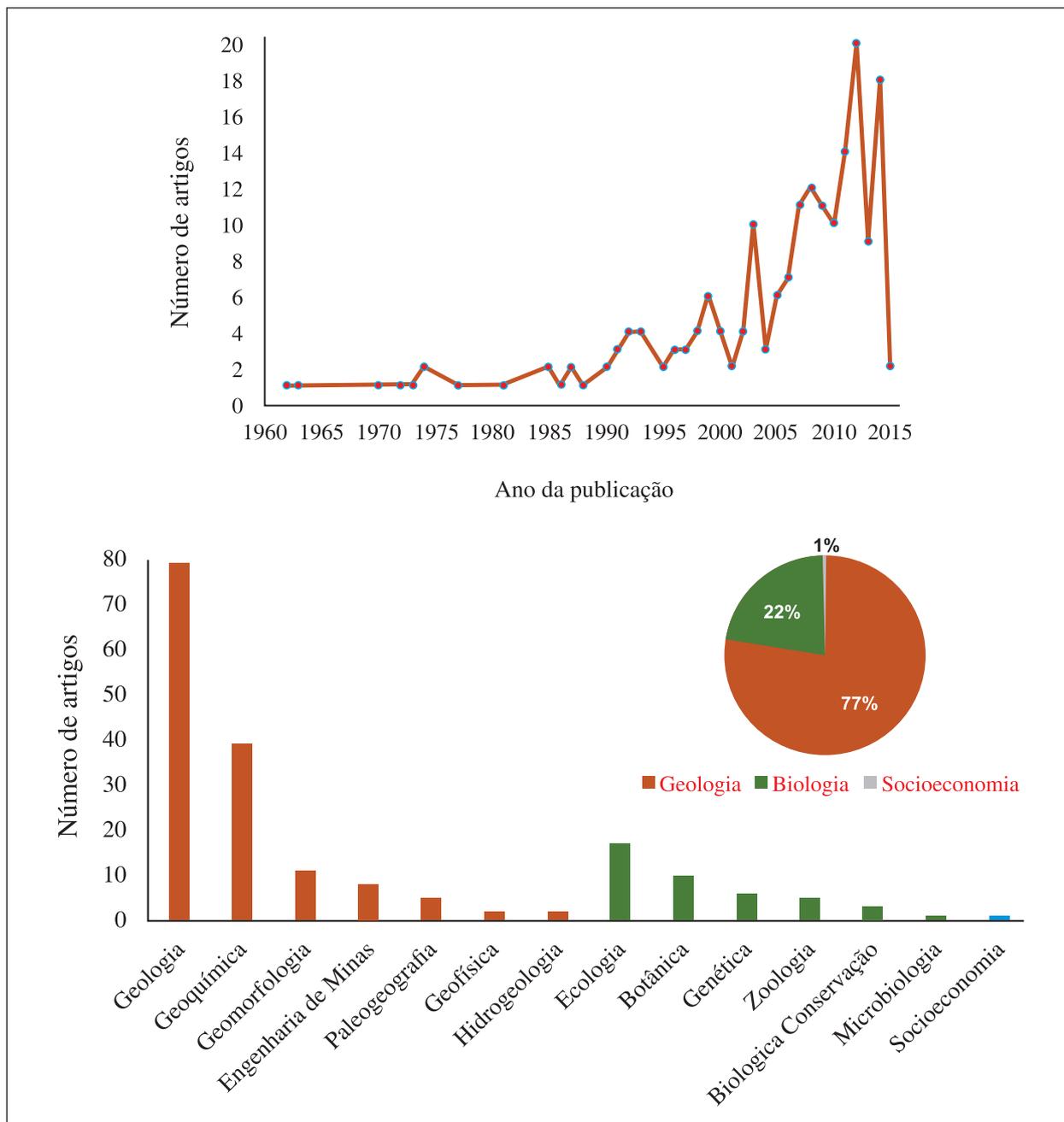


Figura 4 - Cenário atual do conhecimento produzido sobre os geossistemas ferruginosos. Acima: Cronologia das publicações. Abaixo: Frequência das publicações por grandes áreas do conhecimento e suas respectivas disciplinas. Fonte: 189 estudos publicados entre 1962 e 2015 em revistas indexadas na biblioteca virtual SciELO (2015) e no Portal de Periódicos CAPES (2015).

Considerando que os geossistemas ferruginosos localizam-se em *hotspots* mundiais de diversidade, fornecem serviços ambientais fundamentais para sociedade, e que a maioria dos estudos trata do tema Geologia, percebeu-se uma grande lacuna no conhecimento sobre, por exemplo, a Biologia e o Patrimônio Cultural. Diante desse cenário desafiador, o objetivo principal deste livro foi o de apresentar pela primeira vez, em uma mesma publicação, estudos sobre os

patrimônios biológico, espeleológico, geológico, paleoambiental e cultural, todos associados aos geossistemas ferruginosos. Esse objetivo somente foi alcançado devido à fundamental colaboração de 47 pesquisadores de 18 instituições públicas e privadas.

Estima-se que apenas dois geossistemas ferruginosos, Carajás e Quadrilátero Ferrífero, contenham mais de 3.000 cavidades (ver capítulos 4 – Geoespeleologia em rochas ferríferas: cenário atual e conservação; 5 – Paleotocas desenvolvidas em rochas ferríferas: Importante registro da megafauna no norte de Minas Gerais; 7 – Biodiversidade subterrânea em geossistemas ferruginosos; 8 – Morcegos associados a ecossistemas ferruginosos de Minas Gerais e 18 – O Vale do Peixe Bravo: área prioritária para a conservação dos geossistemas ferruginosos no norte de Minas Gerais), constituindo, portanto, sítios espeleológicos e paleontológicos de importância nacional.

O Capítulo 2 – Solos desenvolvidos em cangas – constatou que os mesmos correspondem a ambientes de extremo oligotrofismo, ou seja, são solos caracterizados por fertilidade muito baixa, além de muito rasos e ácidos.

O Capítulo 6 – Sítios geológicos e propostas brasileiras de geoparques em geossistemas ferruginosos – apresenta áreas com formações ferruginosas e cangas sob o ponto de vista da geoconservação, ambas um relevante registro geológico da história da evolução da Terra.

Geralmente associados aos sistemas de cavernas, ocorrem sítios arqueológicos históricos e pré-históricos. Em alguns desses sítios, já foram encontrados artefatos cerâmicos, líticos e gravuras inseridas na superfície da canga (Fig. 5), que indicam uma ocupação humana de até 8.000 anos atrás, no caso de sítios localizados na Serra de Carajás (Oliver, 2008). Esses temas foram explorados nos capítulos 15 – Contexto arqueológico e longa duração nas serras do Paraopeba, Negra e do Itabira, MG; 16 – A escravidão e o ferro: metalurgia, arqueologia e patrimônio (séculos XVIII – XIX); 17 – Petróglifos nas bancadas lateríticas de Corumbá, MS; e 18 – O Vale do Peixe Bravo: área prioritária para a conservação dos geossistemas ferruginosos no norte de Minas Gerais.

A fauna e a flora, incluindo listas de espécies, associadas às formações ferríferas, foram objetos dos capítulos 7 – Biodiversidade subterrânea em geossistemas ferruginosos; 8 – Morcegos associados a ecossistemas ferruginosos de Minas Gerais; 9 – Avifauna das vegetações abertas e semiabertas associadas a geossistemas ferruginosos do Brasil: levantamento, conservação e perspectivas para futuros estudos; 10 – Vegetação sobre sistemas ferruginosos da Serra dos Carajás; 11 – Flora das cangas de Corumbá, MS: diversidade e conservação; 12 – Flora e vegetação em substratos ferruginosos do sudeste do Quadrilátero Ferrífero; e 13 – *Hot, dry and ancient: Banded Iron Formations of Western Australia*. As interações ecológicas até então estudadas no Quadrilátero Ferrífero foram ilustradas no capítulo 14 – Interações ecológicas em ambientes de canga do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.

Uma síntese do cenário atual das áreas protegidas que contêm os geossistemas e uma discussão sobre políticas públicas relacionadas à conservação do patrimônio natural foi apresentada no capítulo 19 – Geossistemas ferruginosos e áreas protegidas.



Figura 5 - Gravura conhecida como petróglifo, inserida na superfície da canga, Morraria de Urucum, MS. Foto: Flávio do Carmo.

Em *Considerações Finais*, foram sugeridas necessidades de aprofundamento dos estudos e integração de linhas temáticas dos projetos de pesquisa. Foram ainda definidas as principais ameaças aos geossistemas ferruginosos e as perspectivas para contribuição no desenvolvimento de políticas públicas de conservação e uso racional dos recursos naturais.

Referências Bibliográficas

- Beato, D.A.C.; Monsores, A.M. & Bertachini, A.C. 2006. Potencial aquífero nos metassedimentos do Quadrilátero Ferrífero – região da APA SUL RMBH – MG. *XIV Congresso Brasileiro de Geologia*, p. 1-20. Disponível em: <http://aguassubterraneas.abas.org/>
- Bertalanffy, L. 1950. The theory of open systems in physics and biology. *Science*, 111: 23-29.
- CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. 2015. *Consulta a base de dados do Portal Capes*. Disponível em: <http://www.periodicos.capes.gov.br/>. Consulta em 2 fev. 2015.
- Jacobi, C.M.; Carmo, F.F. & Campos, I.C. 2015. Iron geosystems: priority areas for conservation in Brazil. In: Tibbett, M. *Mining in Ecologically Sensitive Landscapes*. 1st edition. Collingwood: CSIRO & CRC Press. p. 1-24.
- Mittermeier, R.A.; Gil, P.R.; Hoffman, M.; Pilgrim, J.; Brooks, T.; Mittermeier, C.G.; Lamoreux, J. & Fonseca, G.A.B. 2004. *Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*. México: CEMEX & Agrupación Sierra Madre. 392 p.
- Mittermeier, R.A.; Mittermeier, C.G.; Gil, P.R.; Pilgrim, J.; Fonseca, G.; Konstant, W.R. & Brooks, T. 2002. *Wilderness: Earth's Last Wild Places*. Conservation International. México: CEMEX. 576 p.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2008. Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: *Atualização - Portaria MMA nº9, de 23 de janeiro de 2007*. / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas. – Brasília: MMA, (Série Biodiversidade, 31). 327 pp.
- Monteiro, H.S.; Vasconcelos, P.M.; Farley, K.A.; Spier, C.A. & Mello, C.L. 2014. (U–Th)/He geochronology of goethite and the origin and evolution of cangas. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 131: 267–289.
- Oliver, J.R. 2008. The Archaeology of Agriculture in Ancient Amazonia. In: Silvermann, H. & Isbell, W.H. (Ed.) *The Handbook of South American Archaeology*. Springer. p. 185-216.
- Rosolém, N.P. & Archela, R.S. 2010. Geossistema, território e paisagem como método de análise geográfica. In: VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física, Coimbra. p. 1-9.
- Salgado, A.A.R. & Carmo, F.F. 2015. Quadrilátero Ferrífero: A Beautiful and Neglected Landscape Between the Gold and Iron Ore Reservoirs. In: B.C. Vieira et al. *Landscapes and Landforms of Brazil*, World Geomorphological Landscapes. Springer. p. 319-330.
- SciELO - Scientific Electronic Library Online. 2015. Consulta a biblioteca digital. Disponível em: <http://www.scielo.org/php/index.php?lang=pt>. Consulta em 5 fev. 2015.
- Silva, H.Z. 2001. Hidrogeologia de regiões mineiras. *Rem: Revista Escola de Minas*, 54: 199-204.
- Trendall, A.F. & Morris, R.C. 1983. *Iron-formation: Facts and problems: Developments in precambrian geology*, vol. 6. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.

Material Suplementar: Lista dos 189 estudos publicados entre 1962 e 2015 em revistas indexadas na biblioteca virtual SciELO (2015) e no Portal de Periódicos CAPES (2015).

Título	Periódico	Tema	Ano	País
(U–Th)/He geochronology of goethite and the origin and evolution of cangas.	Geochimica et cosmochimica acta [0016-7037] Monteiro, Hevelyn ano:2014 vol:131 pág:267 -289	Geoquímica	2014	Brasil
A 3.51 Ga bimodal volcanics-BIF-ultramafic succession from Singhbhum Craton: implications for Palaeoarchaean geodynamic processes from the oldest greenstone succession of the Indian subcontinent	Geological journal [0072-1050] Mukhopadhyay, Joydip ano:2012 vol:47 fasc:2-3 p. 284 -311	Geologia	2012	Índia
A critique of the Schellmann definition and classification of 'laterite'	Catena [0341-8162] Bourman, Robert ano:2002 vol:47 fasc:2 p. 117 -131	Geologia	2002	Austrália
A new Brazilian species and some synonyms in Pleroma (Melastomataceae)	Brittonia [0007-196X] Oliveira, Ana ano:2014 vol:66 fasc:4 p. 353 -357	Botânica	2014	Brasil
A new species of Cryptocellus (Arachnida: Ricinulei) from Eastern Amazonia	Zoologia [1984-4670] yr:2012 vol:29 iss:5 p. 474	Zoologia	2012	Brasil
A possible origin of the primitive oils and amino acids isolated from amphibole asbestos and banded ironstone	Geochimica et cosmochimica acta [0016-7037] Harington, J S ano:1963 vol:27 fasc:5 p. 411 -418	Geoquímica	1963	República Centro-africana
A review on the Huoqiu banded iron formation (BIF), southeast margin of the North China Craton: Genesis of iron deposits and implications for exploration	Ore geology reviews [0169-1368] Yang, Xiaoyong ano:2014	Geologia	2014	China
A sequence-stratigraphic interpretation of a mudstone-dominated succession: the Lower Jurassic Cleveland Ironstone Formation, UK.	Journal of the Geological Society [0016-7649] ano:1996 vol:153 fasc:5 p. 759	Geologia	1996	Inglaterra
A tectonic origin for ironstone horizons in the Zimbabwe craton and their significance for greenstone belt geology. (Abstract)	Journal of the Geological Society [0016-7649] Hofmann, A ano:2003 vol:160 fasc:1 p. 83	Geologia	2003	Zimbábue
An unusual diagenetic structure in the Precambrian banded iron formation (BIF) of Orissa, India, and its interpretation	Mineralium deposita [0026-4598] Chakraborty, K ano:1992 vol:27 fasc:1 p. 55 -57	Geologia	1992	Índia
Análise química de pigmentos minerais naturais de Itabirito (MG)	Cerâmica [0366-6913] yr:2007 vol:53 iss:325 p. 35	Geoquímica	2007	Brasil
Anomalous iron distribution in shales as a manifestation of "non-clastic iron" supply to sedimentary basins: relevance for pyritic shales, base-metal mineralization, and oolitic ironstone deposits	Mineralium Deposita, 1995, Vol.30(3), pp.294-302	Geologia	1995	Estados Unidos
Are trade-offs in allocation pattern and root morphology related to species abundance? A congeneric comparison between rare and common species in the south-western Australian flora	Journal of ecology [0022-0477] Poot, Pieter ano:2003 vol:91 fasc:1 p. 58 -67	Ecologia	2003	Austrália

Título	Periódico	Tema	Ano	País
Asteroid mega-impacts and Precambrian banded iron formations: 2.63 Ga and 2.56 Ga impact ejecta/fallout at the base of BIF/argillite units, Hamersley Basin, Pilbara Craton, Western Australia. (Author abstract)	Earth and planetary science letters [0012-821X] Glikson, Andrew ano:2007 vol:254 fasc:1 2 p. 214	Geologia	2007	Austrália
Banded iron formations of Um Nar, Eastern Desert of Egypt: P–T–X conditions of metamorphism and tectonic implications	Lithos [0024-4937] El Shazly, A K ano:2014	Geologia	2014	Egito
Beyond black shales: The sedimentary and stable isotope records of oceanic anoxic events in a dominantly oxic basin (Silurian; Appalachian Basin, USA)	Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology [0031-0182] McLaughlin, Patrick ano:2012 vol:367-368 p. 153 -177	Paleogeografia	2012	Estados Unidos
Breeding biology and reproductive success of <i>Polystictus supercilii</i> (Aves: Tyrannidae), an uncommon tyrant-flycatcher endemic to the highlands of eastern Brazil	Zoologia [1984-4670] Hoffmann, Diego yr:2011 vol:28 iss:3 p. 305	Zoologia	2011	Brasil
Calcretic and ferricretic duricrusts of the Thar Desert, India: their geotechnical appraisal as a road paving aggregate	Engineering geology [0013-7952] Ramakrishnan, D ano:1999 vol:53 fasc:1 p. 13 -22	Geologia	1999	Índia
Ganga biodiversity, a matter of mining.	Frontiers in Plant Science [1664-462X] Skirycz, Aleksandra yr:2014 vol:5 p. 653	Biologia da conservação	2014	Brasil
Ganga vegetation in the Iron Quadrangle, Minas Gerais: characterization and phytogeographical context	Rodriguésia; 64(3); 527-541; 2013	Botânica	2013	Brasil
<i>Carajathemis simone</i> , new genus and species from Brazil (Odonata: Libellulidae)	An. Acad. Bras. Ciênc.; 84(4); 1039-1049; 2012	Zoologia	2012	Brasil
Characterisation of microsatellite DNA markers for <i>Mirbelia bursarioides</i> A.M.Monro & Crisp ms.	Conservation Genetics Resources [1877-7252] Millar, Melissa ano:2014 vol:6 fasc:3 p. 693 -695	Genética	2014	Austrália
Characterisation of microsatellite DNA markers for the rare <i>Acacia woodmaniorum</i> (Leguminosae: Mimosaceae)	Conservation Genetics Resources [1877-7252] Millar, Melissa ano:2009 vol:1 fasc:1 p. 441 -445	Genética	2009	Austrália
Chronology and geochemistry of Neoproterozoic BIF-type iron deposits in the Yinshan Block, North China Craton: Implications for oceanic ridge subduction	Ore geology reviews [0169-1368] Ma, Xudong ano:2014	Geoquímica	2014	China
Combined ERT and GPR methods for investigating two-stepped lateritic weathering systems	Geoderma [0016-7061] Beauvais, Anicet ano:2004 vol:119 fasc:1 p. 121 -132	Geologia	2004	Senegal
Comportamento de forrageamento e dieta de <i>Polystictus supercilii</i> (Aves, Tyrannidae) no Sudeste do Brasil	Iheringia. Série zoologia [0073-4721] Hoffmann, Diego yr:2007 vol:97 iss:3 p. 296	Ecologia	2007	Brasil
Comportamento germinativo de duas espécies de canga ferrífera: <i>Baccharis retusa</i> DC. (Asteraceae) e <i>Tibouchina multiflora</i> Cogn. (Melastomataceae)	Acta Botanica Brasílica [0102-3306] Garcia, Letícia yr:2006 vol:20 iss:2 p. 443	Botânica	2006	Brasil

Título	Periódico	Tema	Ano	País
Composites prepared from natural iron oxides and sucrose: A highly reactive system for the oxidation of organic contaminants in water	Chemical engineering journal [1385-8947] Pereira, Márcio ano:2011 vol:166 fasc:3 p. 962 -969	Geoquímica	2011	Brasil
Controversy in genetic models for Proterozoic high-grade, banded iron formation (BIF)-related iron deposits unifying or discrete model(s)?	Transactions. Section B, Applied earth science [0371-7453] ano:2006 vol:115 fasc:4 p. 147 -151	Geologia	2006	Vários
Cosmogenic ³ He in hematite and goethite from Brazilian "canga" duricrust demonstrates the extreme stability of these surfaces	Earth and planetary science letters [0012-821X] Shuster, David ano:2012 vol:329-330 p. 41 -50	Geologia	2012	Brasil
Deposition and diagenesis of Clinton ironstone (Silurian) in the Appalachian Foreland Basin of Pennsylvania.	Geological Society of America bulletin [0016-7606] Cotter, Edward ano:1993 vol:105 fasc:7 p. 911	Geologia	1993	Estados Unidos
Depositional environment and facies relationships of the Cretaceous ironstone of the Agbaja Plateau, Nigeria	Journal of African earth sciences [0731-7247] Umeorah, Ezigbo ano:1987 vol:6 fasc:4 p. 385 -390	Geologia	1987	Nigéria
Development of microsatellites from the rare ironstone endemic, <i>Tetratheca paynterae</i> ssp. <i>paynterae</i> and cross-species amplification	Molecular ecology resources [1755-098X] Butcher, P A ano:2009 vol:9 fasc:1 p. 386 -389	Genética	2009	Austrália
Diagenetic origin of ironstone crusts in the Lower Cenomanian Bahariya Formation, Bahariya Depression, Western Desert, Egypt	Journal of African earth sciences [1464-343X] Afify, A M ano:2015 vol:101 p. 333	Geologia	2015	Egito
Diamictite and oolitic ironstones, a sedimentary association at Ordovician–Silurian transition in the north Gondwana margin: New evidence from the inner nappe of Sardinia Variscides (Italy)	Gondwana research [1342-937X] Oggiano, Giacomo ano:2006 vol:9 fasc:4 p. 500 -511	Geologia	2006	Itália
Discussion on a sequence-stratigraphic interpretation of a mudstone-dominated succession: the Lower Jurassic Cleveland Ironstone Formation, UK.	Journal of the Geological Society [0016-7649] Hesselbo, S P ano:1997 vol:154 fasc:5 p. 913	Geologia	1997	Inglaterra
Distribution and characteristics of a Middle Ordovician oolitic ironstone in northeastern Kansas based on petrographic and petrophysical properties: a Laurasian ironstone case study	Sedimentary geology [0037-0738] Berendsen, Pieter ano:1992 vol:76 fasc:3 p. 207 -219	Geologia	1992	Estados Unidos
Diversity and conservation status of bromeliads from Serra da Piedade, Minas Gerais, Brazil	Rodriguésia; 63(2); 243-255; 2012	Botânica	2012	Brasil
Diversity of bees and their floral resources at altitudinal areas in the Southern Espinhaço Range, Minas Gerais, Brazil	Neotrop. entomol.; 35(1); 30-40; 2006	Ecologia	2006	Brasil
Duricrusts in tropical and subtropical landscapes	Earth-science reviews [0012-8252] Dury, G H ano:1974 vol:10 fasc:1 p. 93 -94	Geomorfologia	1974	Vários

Título	Periódico	Tema	Ano	País
Early diagenetic pyrite morphology in a mudstone-dominated succession: the Lower Jurassic Cleveland Ironstone Formation, eastern England	Sedimentary geology [0037-0738] Taylor, K G ano:2000 vol:131 fasc:1 p. 77 -86	Geologia	2000	Inglaterra
Ecologia da vegetação herbácea de bancadas lateríticas (cangas) em Corumbá, MS, Brasil	Hoehnea 41: 515-528 2014	Botânica	2014	Brasil
Efeito da dispersão em polpas de minérios itabiríticos	Revista Escola de Minas [0370-4467] Totou, Adriano yr:2011 vol:64 iss:2 p. 227	Engenharia de Minas	2011	Brasil
Efeitos das características granulométricas e mineralógicas da sílica contida no itabirito compacto adicionada em um sínter feed hematítico para sinterização	Revista Escola de Minas [0370-4467] Padula, Victor yr:2011 vol:64 iss:3 p. 347	Engenharia de Minas	2011	Brasil
Efeitos do parasitismo de <i>Struthanthus flexicaulis</i> (Mart.) Mart. (Loranthaceae) na aptidão de <i>Mimosa calodendron</i> Mart. (Fabaceae), um arbusto endêmico dos campos rupestres sobre canga, em Minas Gerais, Brasil	Acta Botanica Brasílica [0102-3306] Mourão, Fabiana yr:2009 vol:23 iss:3 p. 820	Ecologia	2009	Brasil
Engineering characteristics and uses of duricrusts in Australia: G. H. McNally, Australian Journal of Earth Sciences , 42(6), 1995, pp 535–547	International journal of rock mechanics and mining sciences & geomechanics abstracts [0148-9062] ano:1996 vol:33 fasc:6 p. A252 -A252	Engenharia de Minas	1996	Austrália
Estudo fitossociológico de uma comunidade vegetal sobre canga como subsídio para a reabilitação de áreas mineradas no Quadrilátero Ferrífero, MG	Revista árvore [0100-6762] Jacobi, Claudia yr:2008 vol:32 iss:2 p. 345	Ecologia	2008	Brasil
Ferricrete biochemical degradation on the rainforest–savannas boundary of Central African Republic	Geoderma [0016-7061] Beauvais, Anicet ano:2009 vol:150 fasc:3 p. 379 -388	Geoquímica	2009	República Centro-africana
Ferricrete formation and relief inversion: an example from Central Sudan	Catena [0341-8162] Schwarz, Torsten ano:1994 vol:21 fasc:2 p. 257 -268	Geologia	1994	Sudão
First palaeomagnetic dating of ferricrete in New Caledonia: new insight on the morphogenesis and palaeoweathering of 'Grande Terre'	TERRA nova [0954-4879] Sevin, Brice ano:2012 vol:24 fasc:1 p. 77 -85	Geologia	2012	Nova Caledônia
Fitossociologia de campos rupestres quartzíticos e ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais Phytosociology of quartzitic and ferruginous rocky outcrop areas in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais	Acta Botanica Brasílica [0102-3306] yr:2012 vol:26 iss:1 p. 230	Ecologia	2012	Brasil
Flora da Serra de Itabirito, Minas Gerais: primeira contribuição	Acta Botanica Brasílica [0102-3306] Brandão, Mitzi yr:1989 vol:3 iss:2 p. 237	Botânica	1999	Brasil
Floristic and phytophysognomies characterization of the Serra do Condado, Minas Gerais, Brazil	Biota Neotrop.; 10(1); 55-71; 2010	Botânica	2010	Brasil

Título	Periódico	Tema	Ano	País
Florística e caracterização de uma área de campo ferruginoso no Complexo Minerário Alegria, Serra de Antônio Pereira, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil	Revista árvore [0100-6762] Ataíde, Eduardo yr:2011 vol:35 iss:6 p. 1265	Botânica	2011	Brasil
Formation age and genesis of the banded iron formations from the Guyang Greenstone Belt, Western North China Craton	Ore geology reviews [0169-1368] Liu, Li ano:2013	Geologia	2013	China
Formation age and tectonic setting of the Shirengou Neoproterozoic banded iron deposit in eastern Hebei Province: Constraints from geochemistry and SIMS zircon U–Pb dating	Precambrian research [0301-9268] Zhang, Lianchang ano:2011 vol:222-223 p. 325 -338	Geologia	2011	China
Formation of the Huoqiu Banded Iron Formation (BIF), Western Anhui Province	Acta geologica sinica [1000-9515] Yang, Xiaoyong ano:2014 vol:88 fasc:s2 p. 127 -129	Geologia	2014	China
Fructification phenology as an important tool in the recovery of iron mining areas in Minas Gerais, Brazil	Brazilian Journal of Biology [1519-6984] Garcia, Lc yr:2009 vol:69 iss:3 p. 887	Ecologia	2009	Brasil
Genesis of 'Lateritic' duricrusts in Western Australia	Quaternary international [1040-6182] Bourman, R P ano:1998 vol:51 p. 45 -46	Geologia	1998	Austrália
Genesis of a regionally widespread celadonic chert–ironstone bed overlying upper lias manganese deposits, Hungary. (Author abstract)(Report)	Journal of the Geological Society [0016-7649] Polgari, M ano:2010 vol:167 fasc:2 p. 313	Geologia	2010	Hungria
Genesis of itabirite-hosted Au–Pd–Pt-bearing hematite-(quartz) veins, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil: constraints from fluid inclusion infrared microthermometry, bulk crush-leach analysis and U–Pb systematics	Mineralium deposita [0026-4598] Lüders, Volker ano:2005 vol:40 fasc:3 p. 289 -306	Geologia	2005	Brasil
Genesis of the Hussainiyat ironstone deposit, Western Desert, Iraq	Mineralium deposita [0026-4598] Al-Bassam, K S ano:1998 vol:33 fasc:3 p. 266 -282	Geologia	1998	Iraque
Genesis of the Koolyanobbing iron ore deposits, Yilgarn Province, WA, Australia	Transactions. Section B, Applied earth science [0371-7453] Lascelles, D F ano:2007 vol:116 fasc:2 p. 86 -93	Geologia	2007	Austrália
Genetic impacts of <i>habitat</i> loss on the rare ironstone endemic <i>Tetradlea paynterae</i> subsp. <i>Paynterae</i>	Conservation genetics [1566-0621] Butcher, P ano:2009 vol:10 fasc:6 p. 1735 -1746	Genética	2009	Austrália
Genetic model of the Vegas Peladas Fe-sakarns, Mendoza, Argentina	Rev. Asoc. Geol. Argent.; 64(4); 615-634; 2009	Geologia	2009	Argentina
Geochemical Characterization of Novokrivoyrog Metavolcanics: Tectonic Implications and Relationship with the Early Proterozoic Banded Iron Formation (BIF) of Krivoy Rog in Ukraine	Open journal of geology [2161-7570] yr:2012 vol:02 iss:03 p. 121	Geoquímica	2012	Ucrânia

Título	Periódico	Tema	Ano	País
Geochemical signatures of polygenetic origin of a banded iron formation (BIF) of the Archaean Sandur greenstone belt (schist belt) Karnataka nucleus, India	Precambrian research [0301-9268] Manikyamba, C ano:1993 vol:61 fasc:1 p. 137 -164	Geoquímica	1993	Índia
Geochemistry and genesis of the banded iron formations of the Cauê Formation, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil	Precambrian research [0301-9268] Spier, Carlos ano:2007 vol:152 fasc:3 p. 170 -206	Geoquímica	2007	Brasil
Geochemistry of a komatiitic, boninitic, and tholeiitic basalt association in the Mesoproterozoic Koolyanobbing greenstone belt, Southern Cross Domain, Yilgarn craton: Implications for mantle sources and geodynamic setting of banded iron formation	Precambrian research [0301-9268] Angerer, Thomas ano:2012 vol:224 p. 110 -128	Geoquímica	2012	Austrália
Geochemistry of hematite and itabirite, Quadrilátero Ferrífero, Brazil	Revista Escola de Minas [0370-4467] Selmi, Moustafa yr:2009 vol:62 iss:1 p. 35	Geoquímica	2009	Brasil
Geochronology and Geochemistry of the Changyi Banded Iron Formation in Eastern Shandong Province: Constraints on BIF Genesis and Implications for Paleoproterozoic Tectonic Evolution of the North China Craton	Acta geologica sinica [1000-9515] Lan, Tingguang ano:2014 vol:88 fasc:s2 p. 1515 -1517	Geoquímica	2014	China
Geology and geochemistry of the Águas Claras and Pico Iron Mines, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil	Mineralium deposita [0026-4598] Spier, Carlos ano:2003 vol:38 fasc:6 p. 751 -774	Geologia	2003	Brasil
Geometria do Sinclinal Gandarela baseada na deconvolução Euler 2D e 3D: quadrilátero ferrífero (MG)	Rev. Bras. Geof.; 23(3); 221-232; 2005	Geomorfologia	2005	Brasil
Granulite facies metamorphic age and tectonic implications of BIFs from the Kongling Group in the northern Huangling anticline	Journal of Earth Science [1674-487X] Cen, Yang ano:2012 vol:23 fasc:5 p. 648 -658	Geologia	2012	China
Green marine clays. Oolitic ironstone facies, verdine facies, glaucony facies and celadonite-bearing facies—A comparative study	Earth-science reviews [0012-8252] Van Houten, F B ano:1990 vol:27 fasc:4 p. 396 -397	Geologia	1990	Vários
Groundwater fluctuations and footslope ferricrete soils in the humid tropical zone of southern Cameroon	Hydrological processes [0885-6087] Temgoua, Emile ano:2005 vol:19 fasc:16 p. 3097 -3111	Hidrogeologia	2005	Camarões
Groundwater geochemistry and composition of hardpans in southwestern Australian regolith	Geoderma [0016-7061] Lee, S Y ano:2005 vol:126 fasc:1 p. 59 -84	Hidrogeologia	2005	Austrália
Growing Eremanthus erythropappus crushed laterite: A promising alternative to topsoil for bauxite-mine revegetation	Journal of environmental management [0301-4797] Machado ano:2013 vol:129 p. 149 -156	Ecologia	2013	Brasil
Heavy metals distribution on Carajás metalphytic vegetation	Acta Bot. Bras.; 6(1); 107-122; 1992	Ecologia	1992	Brasil

Título	Periódico	Tema	Ano	País
High-grade iron ore at Windarling, Yilgarn Craton: a product of syn-orogenic deformation, hypogene hydrothermal alteration and supergene modification in an Archean BIF-basalt lithostratigraphy	Mineralium deposita [0026-4598] Angerer, Thomas ano:2013 vol:48 fasc:6 p. 697 -728	Geologia	2013	Austrália
Highlands of the upper Jequitinhonha valley, Brazil: II - mineralogy, micromorphology, and landscape evolution	Rev. Bras. Ciênc. Solo; 35(4); 1081-1091; 2011	Geomorfologia	2011	Brasil
Identification of minerals and organic materials in Middle Eocene ironstones from the Bahariya Depression in the Western Desert of Egypt by means of micro-Raman spectroscopy	Journal of Raman spectroscopy [0377-0486] Ciobota, Valerian ano:2012 vol:43 fasc:3 p. 405 -410	Geoquímica	2012	Egito
Implicações geológicas e tectônicas da interpretação magnetométrica da região de Oliveira, Minas Gerais	Rev. Bras. Geof.; 26(1); 87-98; 2008	Geologia	2008	Brasil
Iron and manganese minerals from South African ironstone deposits	Physica scripta [0031-8949] Roy, A ano:2005 vol:2005 fasc:T115 p. 918 -920	Geologia	2005	África do Sul
Iron and sulphur isotopes from the Carajás mining province (Pará, Brazil): Implications for the oxidation of the ocean and the atmosphere across the Archean-Proterozoic transition	Chemical geology [0009-2541] Fabre, Sébastien ano:2011 vol:289 fasc:1 p. 124 -139	Geoquímica	2011	Brasil
Iron mobility during synmetamorphic alteration in the Selwyn Range area, NW Queensland: implications for the origin of ironstone-hosted Au-Cu deposits	Mineralium deposita [0026-4598] Williams, P ano:1994 vol:29 fasc:3 p. 250 -260	Geoquímica	1994	Austrália
Iron ore workings near Horsham, Sussex, and the sedimentology of Wealden clay ironstone	Proceedings of the Geologists' Association [0016-7878] Worssam, B C ano:1972 vol:83 fasc:1 p. 37 -55	Geologia	1972	Inglaterra
Ironstone bodies of the Barberton greenstone belt, South Africa: products of a Cenozoic hydrological system, not Archean hydrothermal vents (Author abstract)	Geological Society of America bulletin [0016-7606] Lowe, Donald ano:2007 vol:119 fasc:1 2 p. 65	Geologia	2007	África do Sul
Ironstone pods in the Archean Barberton greenstone belt, South Africa: earth's oldest seafloor hydrothermal vents reinterpreted as Quaternary subaerial springs. (Author Abstract)	Geology [0091-7613] Lowe, Donald ano:2003 vol:31 fasc:10 p. 909	Geologia	2003	África do Sul
Ironstone-Gossan discrimination: Pitfalls of a simple geochemical approach — A case study from northeast Scotland	Journal of geochemical exploration [0375-6742] Nicholson, Keith ano:1987 vol:27 fasc:3 p. 239 -257	Geoquímica	1987	Escócia
Isolation and characterization of microsatellite markers for the banded ironstone endemic <i>Acacia karina</i> (Leguminosae: Mimosaceae) and cross-species amplification with <i>A. stanleyi</i> and <i>A. jibberdingensis</i>	Conservation Genetics Resources [1877-7252] Nevill, Paul ano:2010 vol:2 fasc:1 p. 321 -323	Genética	2010	Austrália

Título	Periódico	Tema	Ano	País
Isotopic evidence for Holocene climate change in the northern Rockies from a goethite-rich ferricrete chronosequence	Chemical geology [0009-2541] Poage, Michael ano:2000 vol:166 fasc:3 p. 327 -340	Geoquímica	2000	Estados Unidos
Jurassic titaniferous ironstone in a Devonian host: Pivot Coal Measures expunged	Antarctic science [0954-1020] Woolfe, Ken ano:1995 vol:7 fasc:3 p. 293 -301	Geologia	1995	Austrália
Lateral variation within a hiatal-condensed bed and the controls on the formation and occurrence of berthierine ooids: a case study from the Middle Jurassic of NE England, UK	Geological journal [0072-1050] Williams, M E ano:2002 vol:37 fasc:4 p. 279 -296	Geologia	2002	Inglaterra
Laterisation on limestones of the Tertiary Wankoe Formation and its relationship to the African Surface, southern Cape, South Africa	Catena [0341-8162] Marker, Margaret ano:1999 vol:38 fasc:1 p. 1 -21	Geologia	1999	África do Sul
Lateritic duricrust and relief inversion in Australia: The Laterite Profile, Ferricrete and Unconformity. CATENA 17, 1, 97-109	Catena [0341-8162] Conacher, A J ano:1991 vol:18 fasc:6 p. 585 -588	Geologia	1991	Austrália
Life-forms, pollination and seed dispersal syndromes in plant communities on ironstone outcrops, SE Brazil	Acta Botanica Brasílica [0102-3306] Jacobi, Claudia yr:2011 vol:25 iss:2 p. 395	Ecologia	2011	Brasil
Limited pollen-mediated dispersal and partial self-incompatibility in the rare ironstone endemic <i>Tetralochea paynterae</i> subsp. <i>paynterae</i> increase the risks associated with <i>habitat</i> loss	Conservation genetics [1566-0621] Butcher, P ano:2011 vol:12 fasc:6 p. 1603 -1618	Genética	2011	Austrália
Lower cretaceous silcrete-ferricrete, at the northern end of the African Tethys shoreline, Maktesh Gadol, Israel	Sedimentary geology [0037-0738] Azmon, E ano:1985 vol:43 fasc:1 p. 261 -276	Geologia	1985	África do Sul
Macro and micromorphology of nodular ferricretes developed over sandstone in the north of São Paulo, Brazil	Rev. Bras. Ciênc. Solo; 25(2); 371-385; 2001	Geomorfologia	2001	Brasil
Magnetic evidence for the origin of lateritic duricrusts in southern Mali (Western Africa)	Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology [0031-0182] Gehring, A U ano:1992 vol:95 fasc:1 p. 33 -40	Paleogeografia	1992	República do Mali
Major element distribution in Archean banded iron formation (BIF): influence of metamorphic differentiation	Journal of metamorphic geology [0263-4929] Katsuta, N ano:2012 vol:30 fasc:5 p. 457 -472	Geologia	2012	Canadá
Mechanical properties and compression sensibility of ironstone aggregate concrete	Journal of Wuhan University of Technology (Materials Science Edition) [1000-2413] Ding, Shijing ano:2009 vol:24 fasc:3 p. 502 -505	Engenharia de Minas	2009	China
Mercury in itabirite-hosted soft hematite ore in the Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais	Journal of geochemical exploration [0375-6742] Cabral, Alexandre ano:2008 vol:96 fasc:1 p. 69 -76	Geoquímica	2008	Brasil
Metalliferous duricrusts - markers of weathering: A climatic and geomorphological approach to the origin of Pb-Zn-Cu-Sb-P-bearing chemical residues	Journal of geochemical exploration [0375-6742] Dill, Harald ano:2012	Geoquímica	2012	Vários

Título	Periódico	Tema	Ano	País
Microbial Reducibility of Fe(III) Phases Associated with the Genesis of Iron Ore Caves in the Iron Quadrangle, Minas Gerais, Brazil	Minerals [2075-163X] Parker, Ceth yr:2013 vol:3 iss:4 p. 395	Geoquímica	2013	Brasil
Micromorphological and chemical complexities of a lateritic profile from basalt (Jos Plateau, Central Nigeria)	Chemical geology [0009-2541] Horváth, Z ano:2000 vol:170 fasc:1 p. 81 -93	Geoquímica	2000	Nigéria
Microplaty hematite ore in the Yilgarn Province of Western Australia: The geology and genesis of the Wiluna West iron ore deposits	Ore geology reviews [0169-1368] Lascelles, Desmond ano:2015 vol:66 p. 309 -333	Geologia	2015	Austrália
Microporosity of BIF hosted massive hematite ore, Iron Quadrangle, Brazil	Anais da Academia Brasileira de Ciências [0001-3765] yr:2002 vol:74 iss:1 p. 113	Geologia	2002	Brasil
Mikania manomoi (Compositae: Eupatorieae: Mikaniinae), a new, but epappose, species from the Cerro Manomó, Santa Cruz, Eastern Bolivia	Kew bulletin [0075-5974] Hind, D ano:2014 vol:69 fasc:2 p. 1 -7	Botânica	2014	Bolívia
Mineralogical and geochemical investigations of the Middle Eocene ironstones, El Bahariya Depression, Western Desert, Egypt	Gondwana research [1342-937X] Salama, Walid ano:2011 vol:22 fasc:2 p. 717 -736	Geoquímica	2011	Egito
Mineralogy and trace-element geochemistry of the high-grade iron ores of the Águas Claras Mine and comparison with the Capão Xavier and Tamanduá iron ore deposits, Quadrilátero Ferrífero, Brazil	Mineralium deposita [0026-4598] Spier, Carlos ano:2008 vol:43 fasc:2 p. 229 -254	Geoquímica	2008	Brasil
Myrmecofauna of Ironstone Outcrops: Composition and Diversity	Neotropical entomology [1519-566X] Viana Silva, Flávia yr:2012 vol:41 iss:4 p. 263 -271	Zoologia	2012	Brasil
Natural Occurrence of Amino Acids in Virgin Crocidolite Asbestos and Banded Ironstone.	Science [0036-8075] Harington, J S ano:1962 vol:138 fasc:3539 p. 521 -522	Geoquímica	1962	Vários
Natural remanent magnetic survey in the southern portion of the Labrador trough: Its use in the search for itabirite	Pure and applied geophysics [0033-4553] Seguin, M ano:1974 vol:112 fasc:2 p. 477 -497	Geofísica	1974	Brasil
Neotectonic disruption of silicified palaeovalley systems in an intraplate, cratonic landscape: regolith and landscape evolution of the Mulculca range-front, Broken Hill Domain, New South Wales	Australian journal of earth sciences [0812-0099] Hill, S M ano:2003 vol:50 fasc:5 p. 691 -707	Geomorfologia	2003	Austrália
New data on cistern catfish, Phreatobius cisternarum, from subterranean waters at the mouth of the Amazon River (Siluriformes, Incertae Sedis)	Pap. Avulsos Zool. (São Paulo); 45(26); 327-339; 2005	Zoologia	2005	Brasil
Nuclear, chemical and biological characterization of formation histories of ironstones from several sites in Southern California: Dominant role of bacterial activity	Earth and planetary science letters [0012-821X] Lal, D ano:2010 vol:296 fasc:3 p. 227 -234	Microbiologia	2010	Estados Unidos

Título	Periódico	Tema	Ano	País
On ellipsoidal nodules of ironstone	Proceedings of the Geologists' Association [0016-7878] Shakespeare, J D ano:1877 vol:5 fasc:3 p. 121 -122	Geologia	1977	Vários
Ordovician ironstone sedimentation in Ougarta Ranges: North Western Sahara (Algeria)	Journal of African earth sciences, and the Middle East [0899-5362] Guerrak, S ano:1988 vol:7 fasc:4 p. 657 -678	Geologia	1988	Argélia
Ore Control Factors of the High-Grade BIF of the Carajás Iron Province in Brazil	Acta geologica sinica [1000-9515] Yao, Chunyan ano:2014 vol:88 fasc:s2 p. 130 -131	Geologia	2014	Brasil
Origin of ferricretes in fluvial-marine deposits of the Lower Cenomanian Bahariya Formation, Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt	Journal of African earth sciences [1464-343X] Tanner, Lawrence ano:2010 vol:56 fasc:4 p. 179 -189	Geologia	2010	Egito
Oxygen isotope records of goethite from ferricrete deposits indicate regionally varying Holocene climate change in the Rocky Mountain region, U.S.A.	Quaternary research [0033-5894] Sjostrom, Derek ano:2004 vol:61 fasc:1 p. 64 -71	Geologia	2004	Estados Unidos
Oxygen isotopes in an oolitic ironstone and the determination of goethite. delta. sup 18 O values by selective dissolution of impurities: The 5 M NaOH method	Geochimica et cosmochimica acta [0016-7037] Yapp, C J ano:1991 vol:55 fasc:9	Geoquímica	1991	Estados Unidos
Palaeomagnetic dating of the "Borne de Fer" ferricrete (NE France): Lower Cretaceous continental weathering	Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology [0031-0182] Théveniaut, H ano:2007 vol:253 fasc:3 p. 271 -279	Paleogeografia	2007	França
Palaeozoic oolitic ironstone of the French Armorican Massif: a chemical and structural trap for orogenic base metal-As-Sb-Au mineralisation during Hercynian strike-slip deformation	Mineralium deposita [0026-4598] Gloaguen, Eric ano:2007 vol:42 fasc:4 p. 399 -422	Geologia	2007	França
Paleobiological and sedimentological evidence of Pleistocene/Holocene hiatuses and ironstone formation at the Pontian islands shelfbreak (Italy)	Marine geology [0025-3227] Corselli, Cesare ano:1994 vol:117 fasc:1 p. 317 -328	Paleogeografia	1994	Itália
Paleoenvironment and the oxygen isotope geochemistry of ironstone of the Upper Ordovician Neda Formation, Wisconsin, USA	Geochimica et cosmochimica acta [0016-7037] Yapp, C J ano:1993 vol:57 fasc:10	Paleogeografia	1993	Estados Unidos
Paleozoic patterns of oolitic ironstone sedimentation in the Sahara	Journal of African earth sciences, and the Middle East [0899-5362] Guerrak, S ano:1991 vol:12 fasc:1 p. 31 -39	Geologia	1991	Vários
Patterns of plant diversity in ironstone ranges in arid south western Australia.	Journal of arid environments [0140-1963] Gibson, N ano:2012 vol:77 p. 25	Ecologia	2012	Austrália
Pb zircon chronology, geochemistry and isotopes of the Changyi banded iron formation in the eastern Shandong Province: Constraints on BIF genesis and implications for Paleoproterozoic tectonic evolution of the North China Craton	Ore geology reviews [0169-1368] Lan, Ting-Guang ano:2013 vol:56 p. 472 -486	Geoquímica	2013	China

Título	Periódico	Tema	Ano	País
Petrographic and paragenetic studies of the Agbaja Ironstone Formation, Nupe Basin, Nigeria	Journal of African earth sciences [1464-343X] Abimbola, A F ano:1997 vol:25 fasc:2 p. 169 -181	Geologia	1997	Nigéria
Petrographic-microchemical studies and origin of the Agbaja Phanerozoic Ironstone Formation, Nupe Basin, Nigeria: a product of a ferruginized ooidal kaolin precursor not identical to the Minette-type	Mineralium deposita [0026-4598] Mücke, A ano:1999 vol:34 fasc:3 p. 284 -296	Geoquímica	1999	Nigéria
Petrography and geochemistry of Ga'ara sedimentary ironstones, Western Desert of Iraq	Journal of African earth sciences [1464-343X] Tobia, Faraj ano:2014 vol:97 p. 261 -272	Geoquímica	2014	Iraque
Petrological differentiation patterns and geomorphic distribution of ferricretes in Central Africa	Geoderma [0016-7061] Beauvais, Anicet ano:1996 vol:73 fasc:1 p. 63 -82	Geomorfologia	1996	República Centro-africana
Petrology and geochemistry of the banded iron formation (BIF) of Wadi Karim and Um Anab, Eastern Desert, Egypt: Implications for the origin of Neoproterozoic BIF	Precambrian research [0301-9268] Basta, Fawzy ano:2011 vol:187 fasc:3 p. 277 -292	Geoquímica	2011	Egito
Phanerozoic ooidal ironstone deposits generation of potential exploration targets	Applied earth science [0371-7453] Wells, M ano:2010 vol:119 fasc:1 p. 60 -64	Geologia	2010	Austrália
Phase equilibria in rocks of the paleoproterozoic banded iron formation (BIF) of the Lebedinskoe deposit, Kursk Magnetic Anomaly, and the petrogenesis of BIF with alkali amphiboles	Petrology [0869-5911] Savko, K ano:2006 vol:14 fasc:6 p. 567 -587	Geologia	2006	Rússia
Phosphorus distribution in BIF-derived iron ores of Hamersley Province, Western Australia	Transactions. Section B, Applied earth science [0371-7453] Kneeshaw, M ano:2000 vol:109 fasc:3 p. 168 -176	Geologia	2000	Austrália
Pioneer geomechanical investigations on the cuirasses (lateritic 'canga') of 'Serra dos Carajas' in the Brazilian Amazon	Barata, F E; Bogossian, F; Fusaro, F Proc 1st International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils, Brasília, 11-14 February 1985 V1, p. 39-50. Publ Sao Paulo: Brazilian Society for Soil Mechanics, 1985	Geoquímica	1985	Brasil
Plant communities of the ironstone ranges of South Western Australia: hotspots for plant diversity and mineral deposits	Biodiversity and conservation [0960-3115] Gibson, Neil ano:2010 vol:19 fasc:14 p. 3951 -3962	Ecologia	2010	Austrália
Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem	Biodiversity and conservation [0960-3115] Jacobi, Claudia ano:2007 vol:16 fasc:7 p. 2185 -2200	Biologia da conservação	2007	Brasil
Pollinators and defence of <i>Stachytarpheta glabra</i> (Verbenaceae) nectar resources by the hummingbird <i>Colibri serrirostris</i> (Trochilidae) on ironstone outcrops in south-east Brazil	Journal of tropical ecology [0266-4674] Jacobi, Claudia ano:2008 vol:24 fasc:3 p. 301 -308	Ecologia	2008	Brasil

Título	Periódico	Tema	Ano	País
Properties of Ironstone Lateritic Gravels in Relation to Gravel Road Pavement Construction	Geotechnical and geological engineering [0960-3182] Nwaiwu, C ano:2006 vol:24 fasc:2 p. 283 -298	Engenharia de Minas	2006	África do Sul
Radiocarbon-dated ferricrete provides a record of natural acid rock drainage and paleoclimatic changes	Environmental geology [0943-0105] Furniss, G ano:1999 vol:37 fasc:1 p. 102 -106	Geologia	1999	Estados Unidos
Rare earth element evidence of origin and depositional environment of Late Proterozoic ironstone beds and manganese-oxide deposits, SW Brazil and SE Bolivia	Journal of South American earth sciences [0895-9811] Graf, J L ano:1994 vol:7 fasc:2 p. 115 -133	Geoquímica	1994	Bolívia
Reappraisal of the structure of the Western Iron Ore Group, Singhbhum craton, eastern India: Implications for the exploration of BIF-hosted iron ore deposits	Gondwana research [1342-937X] Ghosh, Gautam ano:2007 vol:12 fasc:4 p. 525 -532	Geologia	2007	Índia
Regolith and diamond deposits around Tortiya, Ivory Coast, West Africa	Catena [0341-8162] Teeuw, R M ano:2002 vol:49 fasc:1 p. 111 -127	Geologia	2002	Costa do Marfim
Regolith geochemistry and mineralogy of the Mbalam itabirite-hosted iron ore district, South Eastern Cameroon.(Report)	Open journal of geology [2161-7570] Nforba, M T yr:2011 vol:1 iss:2 p. 17	Geoquímica	2011	Camarões
Relief inversion in the geomorphological evolution of sub-Saharan West Africa	Geomorphology [0169-555X] Butt ano:2012	Geomorfologia	2012	Vários
Remanent magnetization of oolitic ironstone beds, Hazara area, Lesser Himalayan thrust zone, Northern Pakistan: Its acquisition, timing, and paleoenvironmental implications	Earth, Planets and Space, 1998, Vol.50(9), p.733-744	Geologia	1998	Paquistão
Reproductive biology of <i>Calibrachoa elegans</i> (Miers) Stehmann & Semir (Solanaceae)	Braz. J. Bot.; 24(1); 43-49; 2001	Botânica	2001	Brasil
Rock mechanics instrumentation in underground ironstone mining in the UK	International journal of rock mechanics and mining sciences & geomechanics abstracts [0148-9062] ano:1981 vol:18 fasc:6 p. 119 -119	Engenharia de Minas	1981	Inglaterra
Root distribution of <i>Fagus sylvatica</i> in a chronosequence in western France	Journal of forest research [1341-6979] Bakker, M ano:2008 vol:13 fasc:3 p. 176 -184	Ecologia	2008	França
Sedimentologic and provenance analysis of the Rio das Velhas upstream fluvial sediments, Ouro Preto - MG	Rev. Esc. Minas; 61(1); 63-68; 2008-03	Engenharia de Minas	2008	Brasil
Sedimentologic and stratigraphic aspects of the Quaternary deposits along the Plata Coast on the Departamento de Canelones (Uruguay)	Lat. Am. j. sedimentol. basin anal.; 13(1); 77-89; 2006	Geologia	2006	Uruguai
Seedling growth of the invader <i>Calatropis procera</i> in ironstone rupestrian field and seasonally dry forest soils	Neotropical Biology and Conservation [1809-9939] yr:2009 vol:4 iss:2 p. 69 -76	Ecologia	2009	Brasil

Título	Periódico	Tema	Ano	País
Shallow-soil endemics: adaptive advantages and constraints of a specialized root-system morphology	New phytologist [0028-646X] Poot, Pieter ano:2008 vol:178 fasc:2 p. 371 -381	Ecologia	2008	Austrália
SHRIMP U–Pb zircon ages for the Palaeoproterozoic Kuruman Iron Formation, Northern Cape Province, South Africa: evidence for simultaneous BIF deposition on Kaapvaal and Pilbara Cratons	Precambrian research [0301-9268] Pickard, A L ano:2003 vol:125 fasc:3 p. 275 -315	Geoquímica	2003	África do Sul
Soil-landscape relationships at the Quadrilátero Ferrífero in the state of Minas Gerais, Brazil	Pesq. agropec. bras.; 45(8); 903-916; 2010	Geomorfologia	2010	Brasil
Source heterogeneity for the major components of □ 3.7 Ga Banded Iron Formations (Isua Greenstone Belt, Western Greenland): Tracing the nature of interacting water masses in BIF formation	Earth and planetary science letters [0012-821X] Frei, Robert ano:2007 vol:253 fasc:1 p. 266 -281	Geologia	2007	Groenlândia
Spatial distribution of bowal and differences in physicochemical characteristics between bowal and woodland soils in Benin, West Africa	Catena [0341-8162] Padonou, Elie ano:2014 vol:124 p. 45 -52	Geomorfologia	2014	Vários
Spatial Prediction of Lateral Variability of a Laterite-Type Bauxite Horizon Using Ancillary Ground-Penetrating Radar Data	Natural resources research [1520-7439] Erten, Oktay ano:2013 vol:22 fasc:3 p. 207 -227	Geofísica	2013	Austrália
Spessartine-tourmaline-bearing manganiferous itabirite at Miguel Congo: petrographic evidence for a Mn-rich metaexhalite in the Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais, Brazil	Transactions. Section B, Applied earth science [0371-7453] Cabral, A R ano:2003 vol:112 fasc:3 p. 313 -318	Geologia	2003	Brasil
Stability problems associated with an abandoned ironstone mine	Bulletin of engineering geology and the environment [1435-9529] Swift ano:2002 vol:61 fasc:3 p. 227 -239	Geologia	2012	Inglaterra
Stratabound magnetite deposits from the eastern outcrop belt of the Archaean Iron Ore Group, Singhbhum craton, India	Transactions. Section B, Applied earth science [0371-7453] ano:2008 vol:117 fasc:4 p. 175 -186	Geologia	2008	Índia
Stratiform gold mineralization in palaeosol and ironstone of early Proterozoic age, Transvaal Sequence, South Africa	Mineralium deposita [0026-4598] Martini, J ano:1986 vol:21 fasc:4 p. 306 -312	Geologia	1986	República Centro-africana
Tectonic and eustatic control on deposition and preservation of Upper Cretaceous ooidal ironstone and associated facies: Peace River Arch area, NW Alberta, Canada	Sedimentology [0037-0746] Donaldson, W S ano:1999 vol:46 fasc:6 p. 1159 -1182	Geologia	1999	Canadá
Textures and Rare Earth Elements Composition of Banded Iron Formations (BIF) at Njweng Prospect, Mbalam Iron Ore District, Southern Cameroon	International journal of geosciences [2156-8367] yr:2013 vol:04 iss:01 p. 146	Geoquímica	2013	Camarões

Título	Periódico	Tema	Ano	País
The carbon isotope geochemistry of goethite ($[\alpha]\text{-FeOOH}$) in ironstone of the Upper Ordovician Neda Formation, Wisconsin, US: Implications for early Paleozoic continental environments	Geochimica et cosmochimica acta [0016-7037] Yapp, C J ano:1993 vol:57 fasc:11	Geoquímica	1993	Estados Unidos
The composition and genesis of the Mesoproterozoic Dagushan banded iron formation (BIF) in the Anshan area of the North China Craton	Ore geology reviews [0169-1368] Dai, Yanpei ano:2014	Geologia	2014	China
The contribution of ironstone outcrops to plant diversity in the Iron Quadrangle, a threatened Brazilian landscape.	Ambio [0044-7447] Jacobi, Claudia ano:2008 vol:37 fasc:4 p. 324 -6	Biologia da conservação	2008	Brasil
The development of hiatal surfaces in the Osmington Mills ironstone member of the upper Jurassic ringstead formation of south Dorset, England	Proceedings of the Geologists' Association [0016-7878] Williams, M E ano:2003 vol:114 fasc:3 p. 193 -210	Geologia	2003	Inglaterra
The geochemistry of siderite in relation to ironstone in the Paradise Creek Formation, northwest Queensland	Journal of geochemical exploration [0375-6742] Taylor, Graham ano:1973 vol:2 fasc:4 p. 367 -382	Geoquímica	1973	Austrália
The geogenic and anthropogenic impact on the formation of per descensum vivianite-goethite-siderite mineralization in Mesozoic and Cenozoic siliciclastic sediments in SE Germany	Sedimentary geology [0037-0738] Dill, Harald ano:2009 vol:217 fasc:1 p. 95 -111	Geologia	2009	Alemanha
The geology and genesis of high-grade hematite iron ore deposits	Transactions. Section B, Applied earth science [0371-7453] Mukhopadhyay, J ano:2003 vol:112 fasc:1 p. 18 -25	Geologia	2003	Vários
The High Deccan duricrusts of India and their significance for the 'laterite' issue	Proceedings of the Indian Academy of Sciences. Earth and planetary sciences [0253-4126] Ollier, Cliff ano:2008 vol:117 fasc:5 p. 537 -551	Geologia	2008	Índia
The iron chancellors: the dynamics of the domestic economy in ironstone-mining households, 1918-1964.(England)	Journal of family history [0363-1990] Williamson, Margaret ano:2003 vol:28 fasc:3 p. 391	Socioeconomia	2003	Inglaterra
The laterite profile, ferricrete and unconformity	Catena [0341-8162] Ollier, C D ano:1990 vol:17 fasc:2 p. 97 -109	Geomorfologia	1990	Austrália
The rheology of banded iron formation: constraints from axial compression experiments	Rev. Esc. Minas; 65(4); 501-508; 2012	Engenharia de Minas	2012	Brasil
The southern Araçuaí belt and the Dom Silvério Group: geologic architecture and tectonic significance	An. Acad. Bras. Ciênc.; 76(4); 771-790; 2004	Geologia	2004	Brasil
The Statherian itabirite-bearing sequence from the Morro Escuro Ridge, Santa Maria de Itabira, Minas Gerais, Brazil	Journal of South American earth sciences [0895-9811] Silveira Braga, Flávia ano:2014	Geologia	2014	Brasil

Título	Periódico	Tema	Ano	País
The use of duricrusts and topographic relationships in geomorphological correlation: conclusions based in Australian experience	Catena [0341-8162] Twidale, C R ano:1998 vol:33 fasc:2 p. 105 -122	Geomorfologia	1998	Austrália
The Vegetation of Superficial Ironstone Hardpans in Sierra Leone	Journal of ecology [0022-0477] Gledhill, D ano:1970 vol:58 fasc:1 p. 265 -274	Ecologia	1970	Serra Leoa
Towards hydrological and geochemical understanding of an ephemeral palustrine perched water table "wetland" (Lanseria Gneiss, Midrand, South Africa)	Environmental earth sciences [1866-6280] Dippenaar, Matthys ano:2014 vol:72 fasc:7 p. 2447 -2456	Geoquímica	2014	África do Sul
Types and general characteristics of the BIF-related iron deposits in China	Ore geology reviews [0169-1368] Li, Houmin ano:2013 vol:57 p. 264 -287	Geologia	2013	China
Upgrading processes in BIF-derived iron ore deposits: implications for ore genesis and downstream mineral processing	Transactions. Section B, Applied earth science [0371-7453] ano:2003 vol:112 fasc:1 p. 89 -95	Geologia	2003	Austrália
Uranium/thorium dating of ferricretes from mid- to late pleistocene glacial sediments, western Tasmania, Australia	Journal of quaternary science [0267-8179] Augustinus, Paul ano:1997 vol:12 fasc:4 p. 295 -308	Geoquímica	1997	Austrália
Using oxygen isotope chemistry to track hydrothermal processes and fluid sources in itabirite-hosted iron ore deposits in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil	Mineralium deposita [0026-4598] Hensler, Ana-Sophie ano:2014 vol:49 fasc:3 p. 293 -311	Geoquímica	2014	Brasil

GEOSSISTEMAS FERRUGINOSOS NO BRASIL

Fernanda Cristina Rodrigues de Souza & Flávio Fonseca do Carmo

O que é o geossistema ferruginoso

Ao definir o conceito de “sistema”, Christofolletti (1979) afirma que ele é constituído pelas seguintes unidades condicionantes: atributos ou objetos, componentes, relações, entrada (*input*) e saída (*output*) de matéria e energia. Portanto, os sistemas envolvem interação e dinamismo entre os seus componentes e se configuram pelas trocas de matéria e energia. Sotchava (1977) informa que o tema geossistema corresponde a sistemas territoriais naturais que se distinguem no contexto geográfico e são constituídos por componentes naturais interrelacionados no tempo e no espaço. Dias e Santos (2007) sustentam a afirmação de Sotchava (1977) e acrescentam que o geossistema é o resultado da combinação dinâmica entre os fatores fisiográficos (rochas, relevo, água, solos, clima, entre outros), os biológicos e os antrópicos.

Com base nesses pressupostos, o termo geossistema ferruginoso é utilizado neste estudo para se referir às unidades espaciais cujo substrato litológico é constituído por rochas ferruginosas, como formações ferríferas bandadas (BIF) ou itabiritos, cangas, jaspilitos, metadacamicititos ferruginosos, filitos ferruginosos, entre outras. Os geossistemas ferruginosos incluem todos os seus componentes físicos, por exemplo, os componentes mineralógicos, hidrológicos e pedológicos, e todas as relações existentes entre os mesmos. Afinal, enquanto sistema, estas unidades espaciais compostas predominantemente por litologia ferruginosa interferem no ecossistema e nas manifestações e intervenções antrópicas ao longo do tempo e do espaço, e concomitantemente, sofrem as interferências dessas ações.

Os geossistemas ferruginosos são constituídos por formações geológicas originadas principalmente no Arqueano (2,7 – 2,6 Ga) e Paleoproterozoico (2,5 Ga a 540 Ma). As paisagens em que esses geossistemas estão inseridos também são formadas por litologias com cerca de 40 Ma. Esses geossistemas abrigam atributos ambientais únicos, como espécies raras da flora e fauna, sítios espeleológicos, beleza cênica e recursos hídricos. No Brasil, destaca-se a ocorrência de seis geossistemas ferruginosos: Quadrilátero Ferrífero (MG), Morraria do Urucum (MS), Serra de Carajás (PA), Vale do Rio Peixe Bravo (MG), Bacia do Rio Santo Antônio (MG) e Caetité (BA) (Fig. 1).

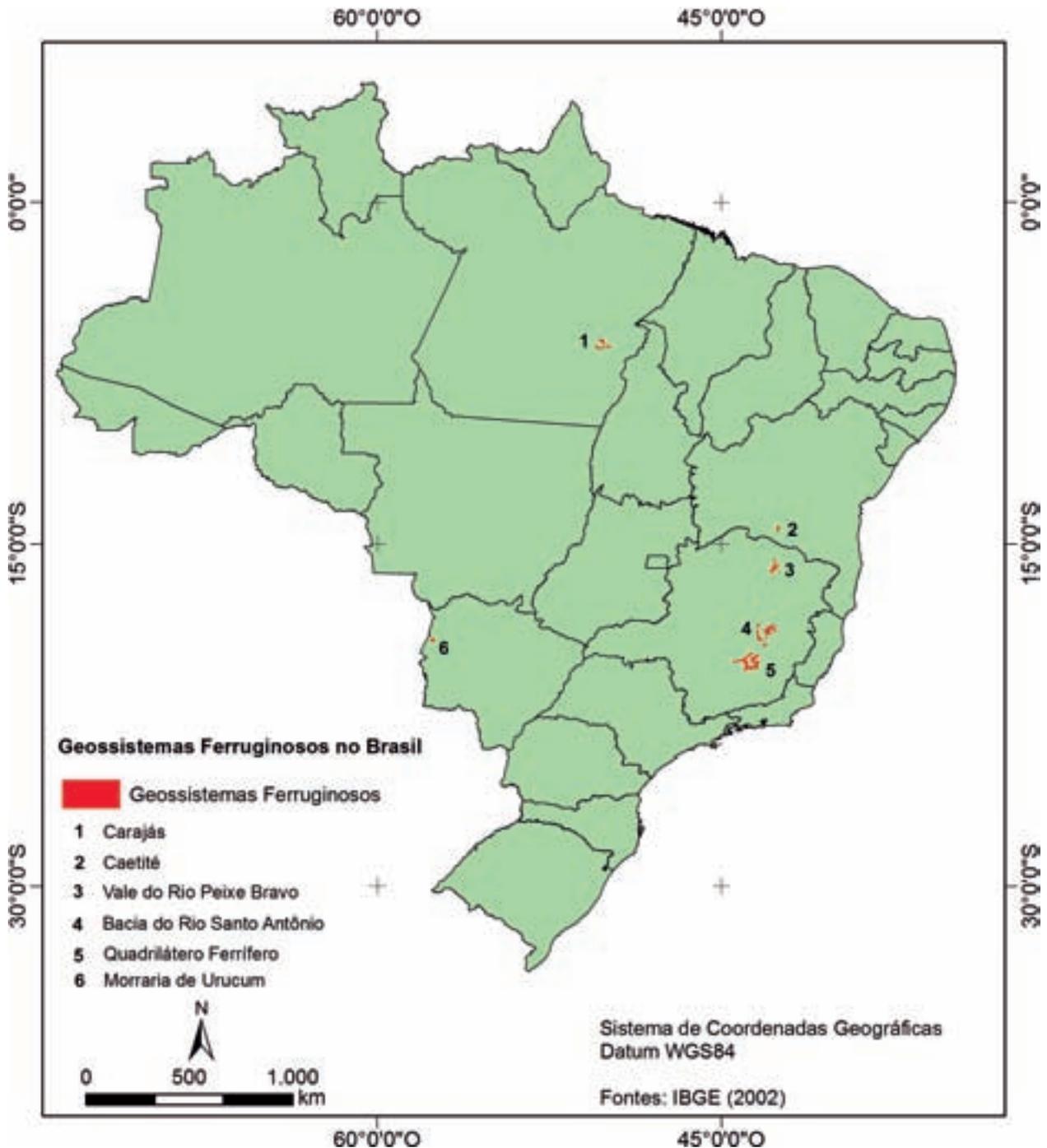


Figura 1 - Geossistemas ferruginosos do Brasil.

O objetivo deste capítulo é apresentar os principais geossistemas ferruginosos no Brasil, com destaque para a geodiversidade das couraças ferruginosas conhecidas como cangas. Para isso foram coletadas amostras de cangas e, em alguns casos, outros tipos de rochas ferruginosas. Todas as amostras estão associadas aos sistemas do Quadrilátero Ferrífero, Morraria do Urucum, Carajás e Vale do Rio Peixe Bravo. As amostras foram submetidas à laminação no Centro de Pesquisa

Manuel Teixeira Costa do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (CPMTC/ IGC/ UFMG). Em seguida, foram analisadas macroscopicamente, com auxílio de lupa de 10 e 20x de aumento, e interpretadas quanto à composição mineralógica, textural e porosidade.

Geodiversidade de formações ferríferas no Brasil

As formações ferríferas denominam diversas rochas de origem metassedimentar cuja composição química contém mais de 15% de ferro. Entre as mais abundantes estão as formações ferríferas bandadas – FFB ou BIFs (Klein, 2005). O Brasil concentra uma das maiores ocorrências mundiais de formações ferríferas (Rosière & Chemale Jr, 2000; Bekker *et al.*, 2010), agrupando, além das FFB – itabiritos e jaspilitos – os diamictitos, dolomitos e filitos ferruginosos e outras rochas de composição predominantemente ferrífera (Fig. 2). Os itabiritos, assim denominados por Eschwege em 1822 (Eschwege, 2005), foram descritos para a localidade de Itabira do Campo (Fig. 3), atual município de Itabirito (MG):

forma cumes e espigões altos e grotescos com muito tálus no seu entorno. Destacam-se especialmente o Pico de Itabira [ou Itabirito] com uma altitude de 4895 pés [aprox. 1615 m] acima do nível do mar e a Serra da Piedade perto de Sabará com 5460 pés [aprox. 1800 m], ambos na província de Minas Gerais. Nessa última serra o itabirito atinge mais de 1000 pés [aprox. 330 m] de espessura. Dessa ocorrência tão grande pode-se deduzir que, enquanto existe o mundo, ele pode ser abastecido, com toda certeza, com ferro desta região.

Nome

Tomei o nome itabirito do Morro Itabira, não longe de Sabará, que é notável tanto por sua produção de ouro como também por sua forma e altitude. Forma um rochedo bizarro, que de longe assemelha-se a uma antiga torre e que se vê a 10 milhas. Deve seu nome indígena à superfície metálica resplandecente, que produz um brilho claro, visível a grande distância; *ita* significa pedra, rocha, e *bira* = claro, branco (pedra clara).

Os itabiritos podem ser agrupados em três tipos principais, de acordo com os componentes mineralógicos (Rosière & Chemale Jr., 2000):

Itabirito comum ou quartzo itabirito – corresponde ao jaspilito metamorizado, formado por bandeamento de quartzo e óxidos de ferro;

Itabirito anfibolítico – formados por anfibólios de composição variada e óxidos de ferro;

Itabirito dolomítico – formado por bandeamento de dolomita ferroana, quartzo e óxidos de ferro.

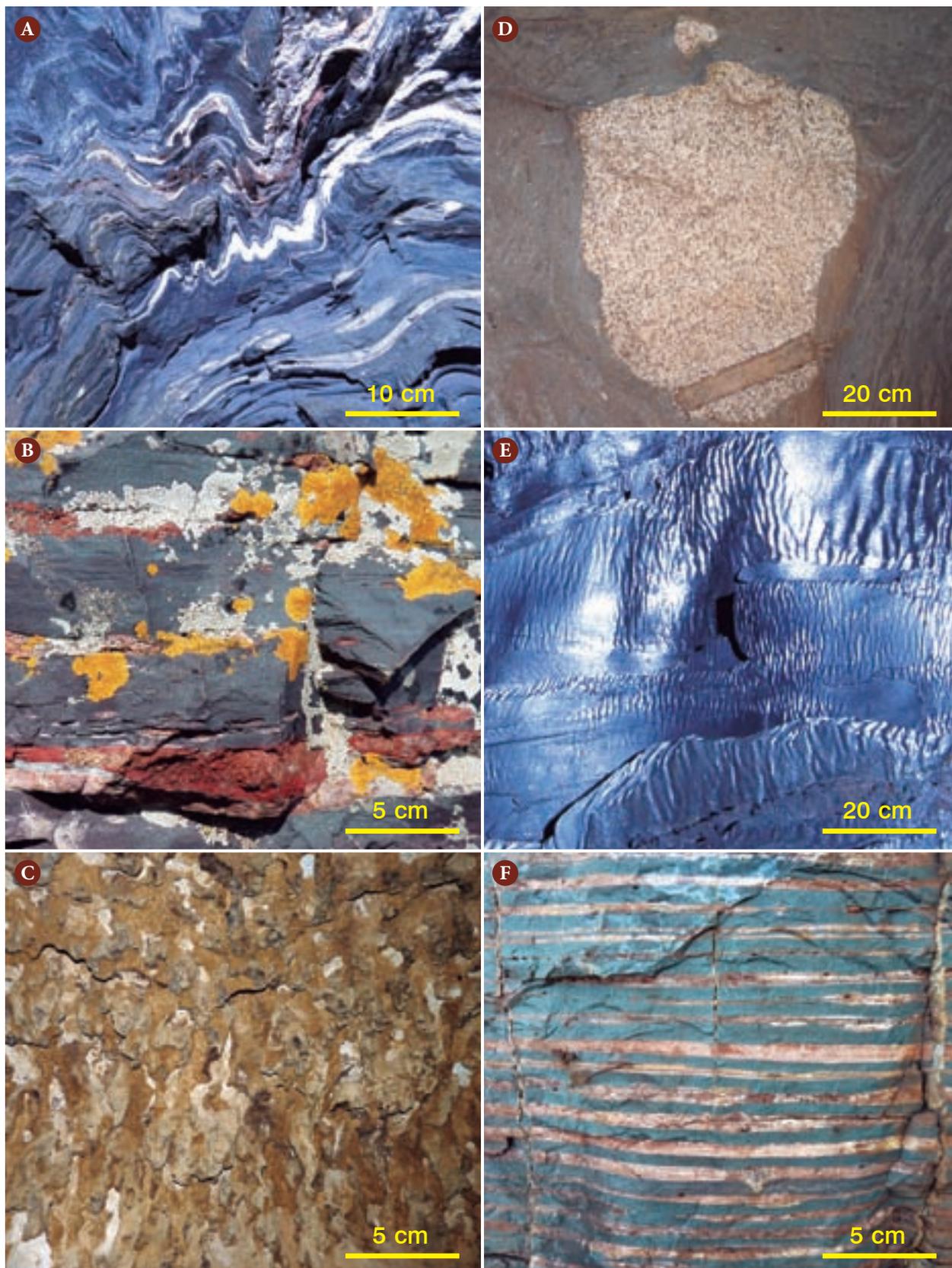


Figura 2 - Geodiversidade das formações ferríferas no Brasil. **A)** Dobras em formação ferrífera bandada. **B)** Jaspilito aflorado coberto por líquens. **C)** Formação ferrífera alterada, saprólito. **D)** Metadiamicrito de matriz hematítica com clasto em formato retangular. **E)** Formação ferrífera apresentando brilho metálico. **F)** Bandamento em Jaspilito. Fotos: A e E, Rodrigo L. Ferreira; B, C, D e F, Flavio Carmo.

Algumas couraças associadas geneticamente às formações ferríferas são encontradas geralmente recobrendo essas litologias e são conhecidas como *cangas*. Essas couraças de ferro ocorrem geralmente nas porções mais altas do relevo, constituindo platôs interconectados por vales e escarpas localizados principalmente no Brasil, Austrália, Índia, Guiné, Burkina Faso, República da África Central e Venezuela (Dorr, 1973; Beauvais & Tardy, 1991; Brown *et al.*, 1994; Bekker *et al.*, 2010; Monteiro *et al.*, 2014). Algumas exceções correspondem às cangas da região da Morraria de Urucum e do leste do Quadrilátero Ferrífero, que ocorrem nas cotas altimétricas mais baixas em relação ao relevo do entorno (Fig. 4). Assim, as cangas sempre ocorrem nos principais geossistemas ferruginosos (Tabela 1).

Destaca-se que algumas localidades nos geossistemas ferruginosos como, por exemplo, o Pico do Itabirito, compõem sítios com excepcionais ocorrências geológicas que registram a origem e evolução da Terra (Winge, 1999) e são reconhecidos como sítios geológicos pela Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (Rosière *et al.*, 2005; Ruchkys *et al.*, 2007).



Figura 3 - Pico do Itabirito, localidade de Itabira do Campo, atualmente município de Itabirito, Quadrilátero Ferrífero (MG). Desenho de F.J. Stephan (1840). Disponível em: <http://florabrasiliensis.cria.org.br/opus?vol=1>.

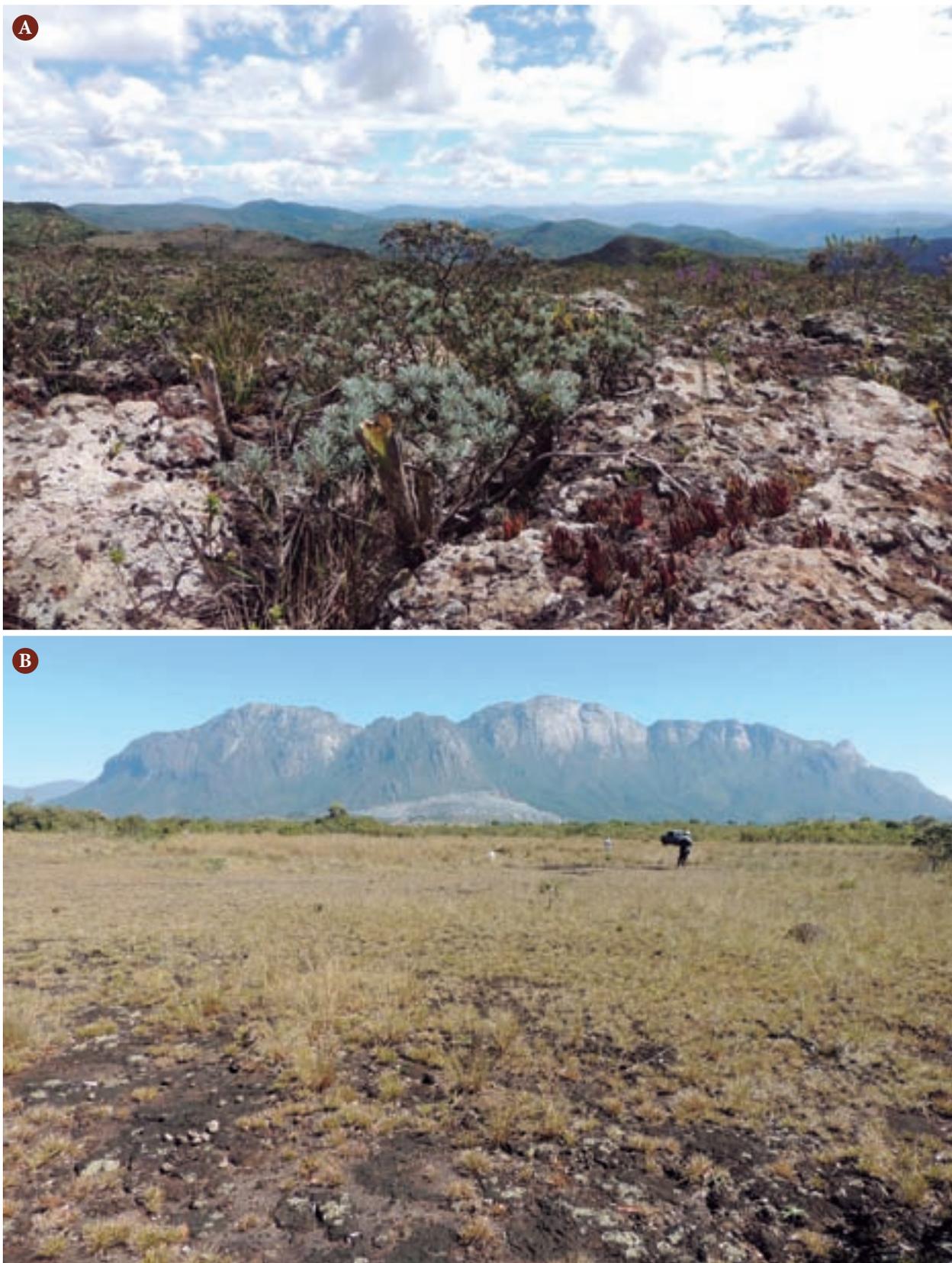


Figura 4 - A) as cangas ocorrem geralmente nas porções mais altas do relevo, constituindo platôs interconectados por vales e escarpas. Canga localizada a 1.600 m de altitude, Serra de Gandarela, Quadrilátero Ferrífero. B) extensas couraças de cangas ocorrem nas porções mais baixas do relevo, 900 m altitude. Ao fundo o maciço quartzítico da Serra do Caraça, Quadrilátero Ferrífero. Fotos: Flávio Carmo.

Tabela 1 – Principais geossistemas ferruginosos do Brasil

Ocorrência	Unidade Geológica	Período da origem	Constituição geológica	Minerais de Fe	Reserva/ recurso de minério de ferro (toneladas)	Número de minas a céu aberto
Quadrilátero Ferrífero (MG)	Grupo Itabira Formação Cauê	Paleoproterozoico 2,6 – 2,1 Ga	Cangas Itabiritos Itabirito dolomítico Dolomito ferruginoso Filito	hematita magnetita marrita pirita siderita	29 bilhões	46
Serra de Carajás (PA)	Grupo Grão Pará Formação Carajás	Nearqueano 2,7 – 2,6 Ga	Cangas Jaspilitos	hematita marrita magnetita goethita	20 bilhões	01
Vale do Rio Peixe Bravo (MG)	Grupo Macaúbas Formação Nova Aurora Membro Riacho Porções	Neoproterozoico 540 – 570 Ma	Cangas Itabiritos Diamictitos/metadiamicititos hematíticos Filitos hematíticos	hematita marrita magnetita goethita	3,5 bilhões	00 (em processo de licenciamento)
Bacia do Rio Santo Antônio (MG)	Complexo Guanhães Grupo Serra da Serpentina Unidade Itabirítica;	Paleo- Mesoproterozoico	Cangas Itabiritos	hematita magnetita marrita siderita ankerita	1 bilhão	01
Caetité (BA)	Complexo Urandi-Licínio de Almeida Formação Mosquito	Arqueano/Proterozoico	Cangas Itabiritos	hematita magnetita marrita siderita ankerita	1 bilhão	01
Morraria de Urucum (MS)	Grupo Jacadigo Formação Santa Cruz Grupo Corumbá Formação Puga	Proterozoico 600 Ma	Jaspilitos em parte manganesíferos de depósitos glaciais Cangas	hematita marrita goethita	1 bilhão	05

Fonte: Schobbenhaus & Coelho, 1986; Rosière & Chemale Jr., 2000; DNPM, 2007; 2014; Alves, 2008.

O termo canga corresponde ao conceito primeiramente descrito por Eschwege em 1822 (Eschwege, 2005). Eschwege denomina as cangas como um conglomerado de “pedras de ferro” (Eisensteinkonglomerat) constituído:

por fragmentos angulosos, raramente arredondados, de specularita xisto e hematita magnética com um cimento ferruginoso de limonita vermelha ou amarela e marrom. O tamanho dos fragmentos é de algumas linhas [1 linha = aprox. 1 mm] até 8 polegadas [aprox. 20 cm] de diâmetro.

As cangas são formações superficiais compostas por fragmentos de outras rochas adjacentes, cimentadas por limonita e hematita. Elas podem ser originadas a partir de transporte, deposição, processos químicos e mecânicos, bem como do enriquecimento supergênico de Fe, Al e outros elementos residuais, conforme verificado em regiões tropicais do Brasil e do mundo (Dorr, 1964; 1969; McFarlane, 1976; Meyer, 1997). Augustin *et al.* (2013) afirmam que há várias correntes de pensamentos sobre a formação e conceituação das lateritas, que incluem as cangas no Brasil. Entretanto, em termos gerais, quanto à gênese, as cangas podem surgir a partir de:

1. acumulação relativa ou *in situ* de Fe_2O_3 e/ou Al_2O_3 ;
2. acumulação absoluta de óxidos de Fe_2O_3 e/ou Al_2O_3 de lateritas primárias e secundárias.

Destaca-se que há um conjunto de variedades de tipos de cangas (Fig. 5). Dorr (1964; 1969) classificou as cangas que ocorrem no Quadrilátero Ferrífero em quatro tipos, conforme as suas principais características mineralógicas e texturais. Assim, as cangas podem ser classificadas como: detrítica, estruturada, rica e química (Tabela 2).

Tabela 2 - Características das tipologias de cangas associadas às formações ferríferas bandadas do Quadrilátero Ferrífero.

Tipologia da canga	Período geológico	Características da rocha
Detrítica	Paleogeno	Corresponde à rocha rica em ferro de origem detrítica formada pela litificação de fragmentos de outras rochas (geralmente de itabiritos, filito e quartzitos). Os detritos derivam de rochas imediatamente adjacentes ou subjacentes. Os depósitos geralmente contêm entre 20 e 80% de fragmentos detríticos de hematita e itabirito. Contém teores de ferro entre 50 e 60%; também é conhecida como canga clasto suportada.
Estruturada	Paleogeno	São as rochas que preservam, ainda que parcialmente, os bandamentos primários ou tectônicos ocorridos.
Rica	Paleogeno	São depósitos eluviocoluvionares, que constituem os capeamentos limoníticos, com predomínio de hematita. As concentrações de ferro são superiores a 60%.
Química	Plio-Pleistoceno	São as coberturas rochosas compostas predominantemente pela matriz, com poucos materiais detríticos. A rocha é altamente limonitizada e também conhecida como canga suportada pela matriz. Geralmente, é muito aluminosa e mais frequente em encostas suaves.

Fonte: Adaptado de Dorr (1964; 1967)

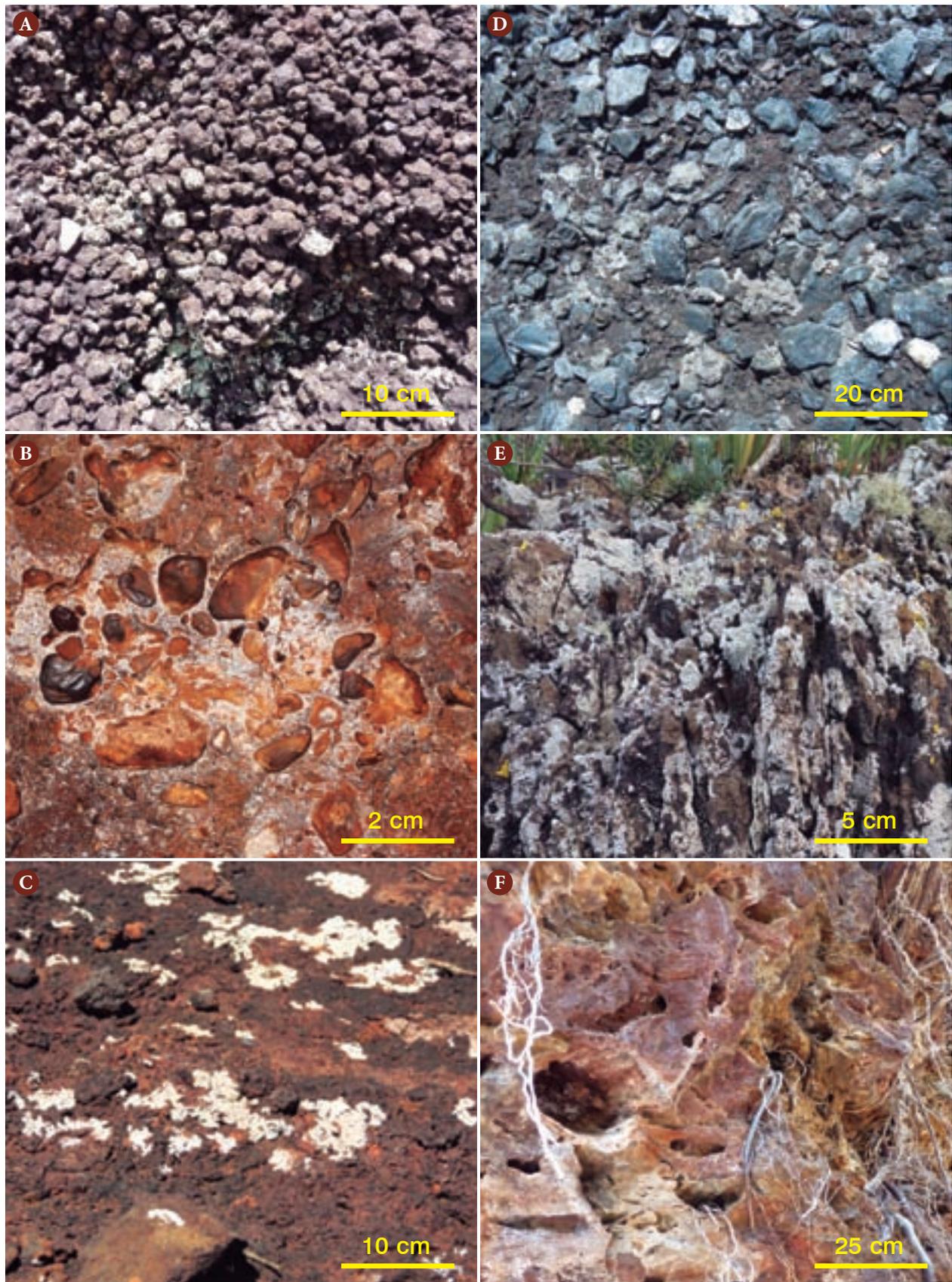


Figura 5 - Diversidade de tipos de cangas. A, D e F) Vale do Rio Peixe Bravo. Em F, notar raízes se desenvolvendo a partir dos canais e poros; B e E) Quadrilátero Ferrífero; C) Morraria de Urucum. Fotos: Flavio do Carmo e Augusto Milagres e Gomes (B).

Considerando que a geodiversidade interfere direta e indiretamente na biodiversidade (Castro, 2008), assevera-se que os diferentes tipos de cangas condicionam e proporcionam o desenvolvimento de geossistemas locais, com características específicas em cada ambiente.

Depósitos de minério de ferro encontram-se associados aos seis principais geossistemas ferruginosos no Brasil e eles representam cerca de 14% das reservas lavráveis globais. Essas reservas estão concentradas em apenas três Estados: Minas Gerais (72,5% das reservas e teor do minério em torno de 46,3% de Fe), Mato Grosso do Sul (13,1% das reservas e teor do minério em torno de 55,3%) e Pará (10,7% das reservas e teor do minério em torno de 64,8%). As atuais demandas globais por recursos minerais impulsionaram a produção brasileira de minério de ferro, sendo que em 2013 alcançou 386 milhões de toneladas, classificando o país como o terceiro maior produtor mundial (DNPM, 2014).

Ao mesmo tempo, as demandas globais por ferro intensificam e aceleram as alterações na paisagem causadas pela atividade de mineração (Fig. 6). Nesta situação, os impactos ultrapassam as áreas restritas das estruturas dos empreendimentos. Além disso, muitos impactos são inadequadamente avaliados pelos mecanismos e métodos ambientais vigentes (Prado-Filho & Souza, 2004; Lima *et al.*, 2006; Ferreira *et al.*, 2014; Sonter *et al.*, 2014). Entre os impactos mais visíveis estão a perda e degradação de áreas naturais e da vegetação associada.

Os geossistemas ferruginosos e as características mineralógicas das cangas

Entre os seis principais geossistemas ferruginosos brasileiros, apenas o localizado em Caetité (BA) não foi descrito no presente capítulo, devido à escassez de informações sobre a região.

Quadrilátero Ferrífero

O geossistema Quadrilátero Ferrífero localiza-se na porção centro-sul de Minas Gerais e corresponde à principal unidade ferrífera do país. Os estudos sobre cangas e formações ferruginosas no Quadrilátero Ferrífero tornaram expressivos principalmente a partir da década de 1960. Eichler (*apud* Walde, 1986) e Chemale Jr. *et al.* (1987) apresentou perfis de intemperismo idealizado para os itabiritos e cangas do Quadrilátero Ferrífero (Fig. 7). Simmons (1960) e Dorr (1964; 1969) descrevem algumas cangas no Quadrilátero Ferrífero e interpretam o ambiente deposicional das mesmas. Dorr (1969) constata que a canga forma uma carapaça praticamente inerte ao intemperismo químico e resistente ao intemperismo mecânico. Essas características da canga frente ao intemperismo químico e mecânico destacam a sua importância para:

- a) Preservar registros de geodiversidade representados por substratos litológicos que se localizam subjacentes à canga;
- b) Favorecer o desenvolvimento de cavidades devido a sua resistência ao intemperismo ser geralmente superior a de outras formações ferruginosas.

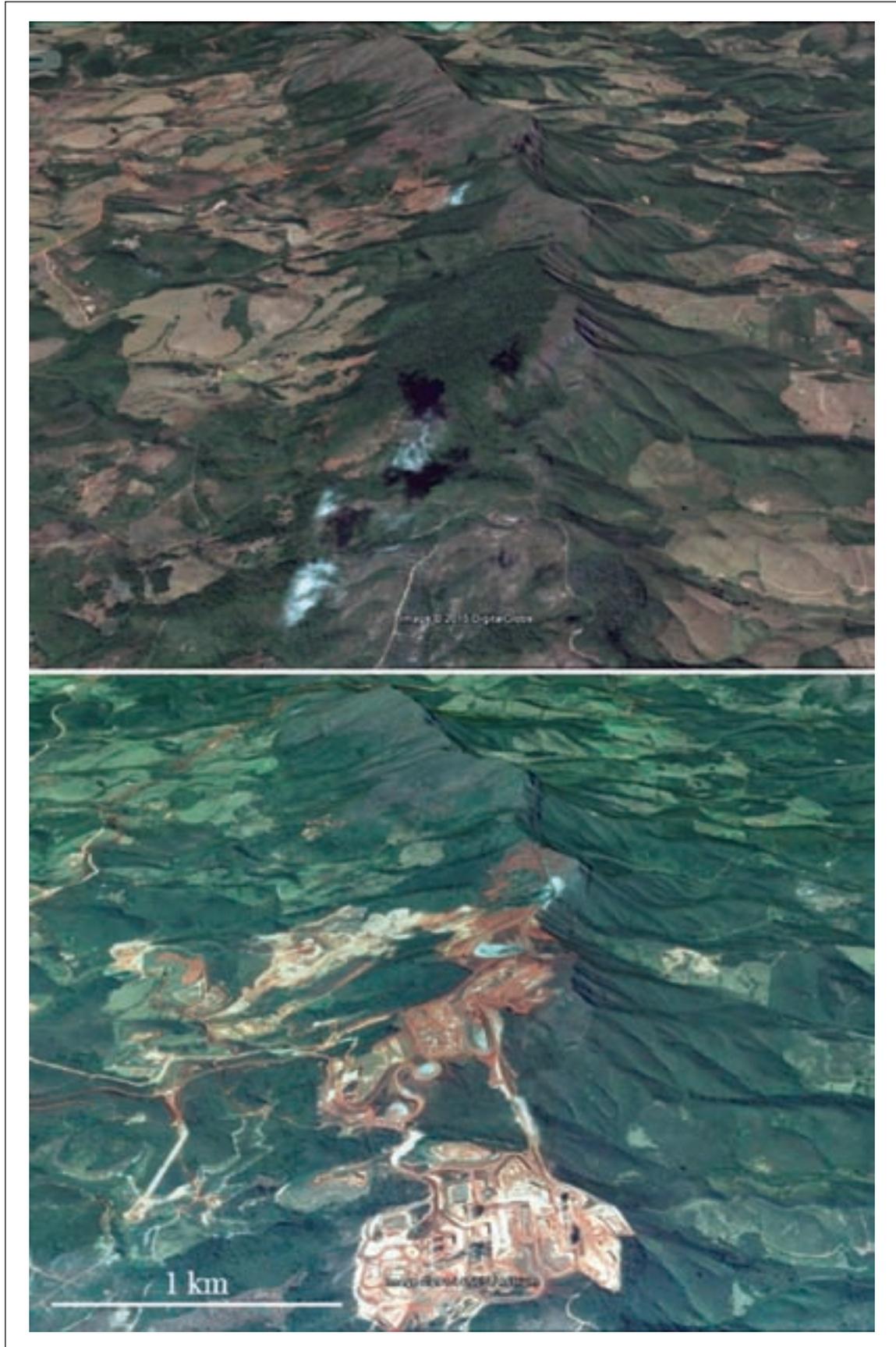


Figura 6 - Alteração na paisagem em geossistema ferruginoso após instalação de empreendimento de mineração de ferro localizado na Bacia do Rio Santo Antônio, MG. Adaptado de *Google Earth*.

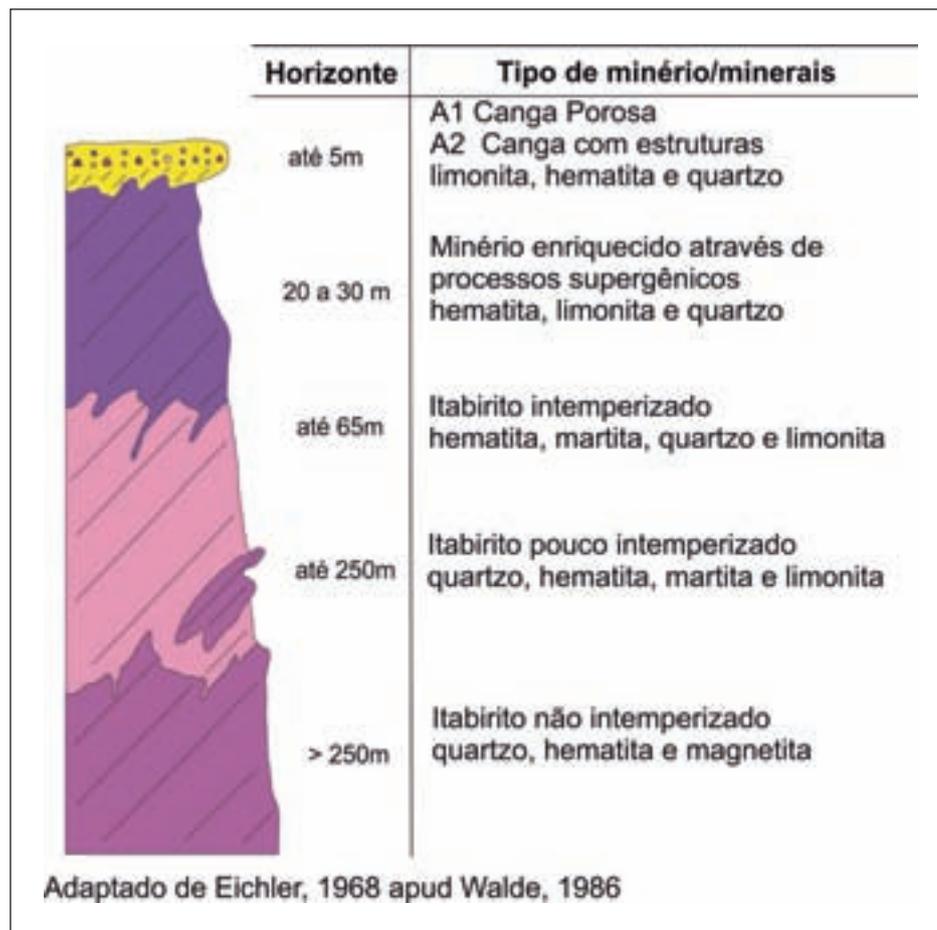
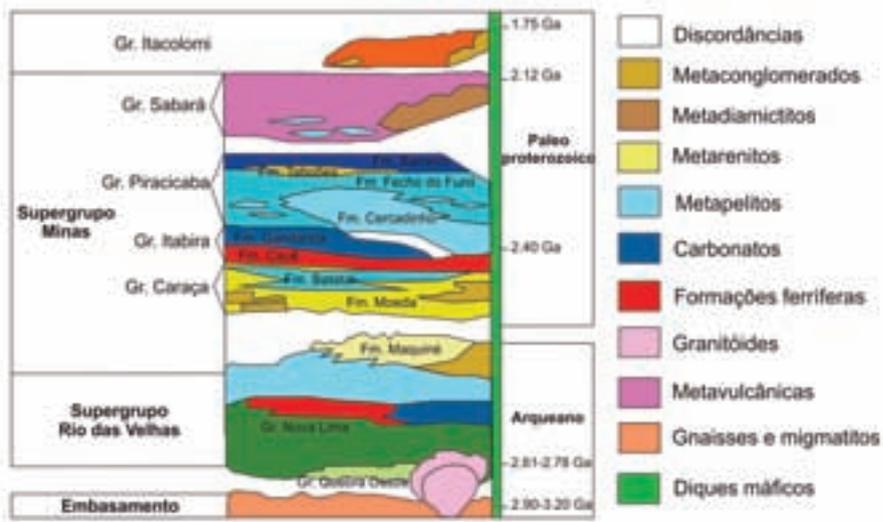
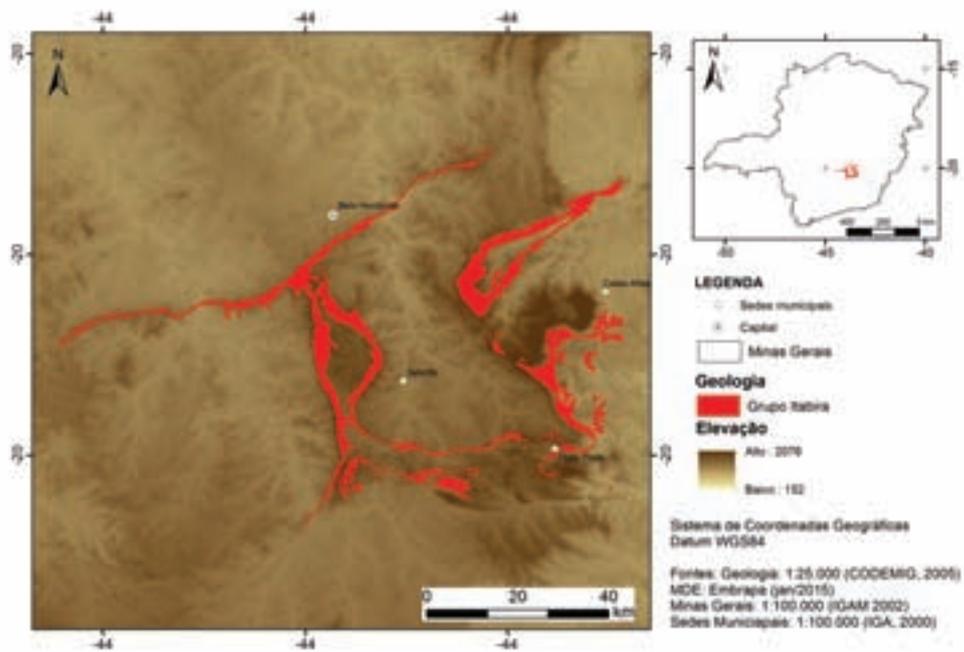


Figura 7 - Perfil de intemperismo de itabirito e canga. Adaptado de Eichler, 1968 *apud* Walde, 1986.

Salgado *et al.* (2004) investigaram a contribuição da denudação geoquímica na configuração geomorfológica do Quadrilátero Ferrífero e constataram que o relevo desenvolveu-se a partir da erosão diferencial. Os autores verificaram a existência de três comportamentos denudacionais distintos, os quais estão diretamente associados ao contexto litológico local. Assim, as áreas moldadas sobre quartzitos e formações ferruginosas correspondem às localidades mais elevadas e com as menores taxas de denudação e rebaixamento geoquímico. Essas características estão associadas à resistência das formações ferruginosas ao intemperismo químico e mecânico, e permitem que estas áreas se localizem nos patamares altimétricos mais elevados na paisagem. Essas paisagens constituem áreas de elevada diversidade biológica e as suas posições no relevo justificam o fato de elas se tornarem referências espaciais na paisagem e/ou áreas de valor cênico e paisagístico para tropeiros, viajantes, bandeirantes e naturalistas.

As formações ferríferas do Quadrilátero Ferrífero ocorrem predominantemente no Grupo Itabira, Formação Cauê (Paleoproterozoico), que é composta especialmente por itabirito, itabirito dolomítico, filito dolomítico e dolomito ferruginoso e filito. No Quadrilátero Ferrífero identifica-se a presença de canga química, estruturada e clasto suportada ortoconglomerática.



Fonte: Alkmim e Marshak (1998)

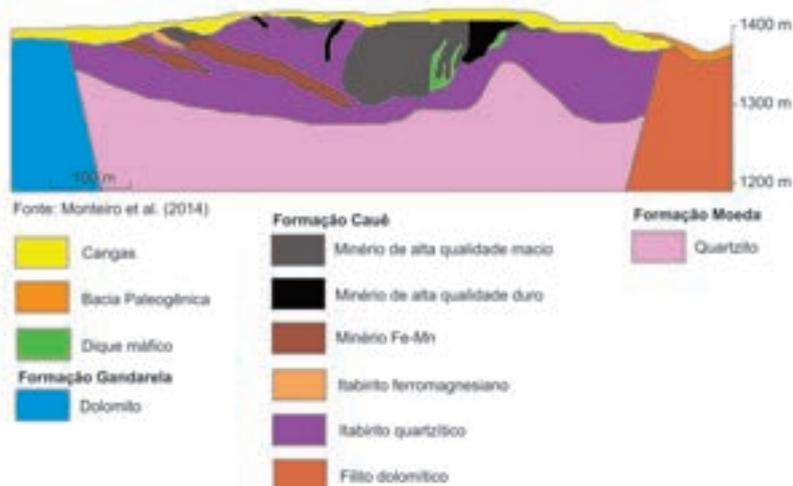


Figura 8 - Localização, estratigrafia e perfil geológico do geossistema ferruginoso do Quadrilátero Ferrífero.

A análise macroscópica registra que a canga clasto suportada ortoconglomerática contém matriz vermelha ou vermelha e ocre, a qual é composta por materiais de granulometria fina (argila e silte). O arcabouço é composto por itabirito, hematita, goethita, quartzo e quartzitos. No arcabouço registra-se a presença de areia, grânulos e seixos arredondados a subarredondados e, em alguns casos, subangulosos, com contato reto ou irregular entre os grãos. As amostras apresentam poros com morfologia arredondada ou irregular, cujas dimensões variam geralmente de 0,5 a 24 mm. Algumas amostras contêm raízes finas concentradas, predominantemente, nos poros e canalículos das rochas (Fig. 9).

Serra dos Carajás

O geossistema ferruginoso Serra dos Carajás localiza-se nos domínios da unidade geomorfológica homônima, no Pará, e é caracterizada pela ocorrência de jaspilitos, minério de ferro hematítico e cangas (Fig. 10).

A ocorrência de cangas e formações ferríferas na Serra dos Carajás está associada ao Grupo Grão Pará, Formação Carajás (Precambriano) (Pereira, 2009) (Fig. 11). A Formação Carajás é composta por jaspilitos esferulitos e BIFs, cuja idade mínima é determinada por soleira máfica que a corta, datada em 2,7 a 8 Ma pelo método U-Pb, zircão (Trendall *et al.*, 1998). Há ocorrências de canga estruturada, química e detrítica. A canga estruturada é caracterizada pela presença de hematita, magnetita e goethita, além da ocorrência de estruturas bem preservadas de dobras, falhas e fraturas. A canga química é encontrada em bordas de clareiras, na transição entre as Formações Carajás e Parauapebas ou próximo a intrusões máficas em meio aos corpos ferríferos (Pereira, 2009).

Lindernmayer *et al.* (2001) analisaram a composição mineralógica de rochas da Serra dos Carajás e constataram que a hematita é o óxido de ferro predominante na Serra Norte, enquanto a magnetita domina na Serra Sul. Os autores chegaram a esta constatação ao verificar a variação de $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ em 32 amostras da Serra Sul e 193 amostras da Serra Norte.

Para o presente capítulo, as amostras coletadas em Carajás foram de canga estruturada e clasto suportada. A canga detrítica ou clasto suportada é constituída por matriz vermelha e composta por materiais siltosos e argilosos. O arcabouço é composto por areia, grânulos e clastos de itabirito, hematita e quartzo; arredondados, subarredondados, angulosos ou subangulosos. Registra-se a presença de poros arredondados a subarredondados, com tamanhos predominantemente entre 1mm e 11 mm de diâmetro. Destaca-se a presença de raízes, poucas e finas, em algumas amostras (Fig. 12).

A canga estruturada possui matriz vermelha e é composta por materiais siltosos e argilosos. O arcabouço é composto por grânulos de hematita e seixos de itabirito subarredondados a angulosos. Destaca-se a presença de poros arredondados a subarredondados, com tamanhos predominantemente entre 1mm e 1,5mm de diâmetro. Registra-se a ocorrência de estruturas na amostra (Fig. 12).

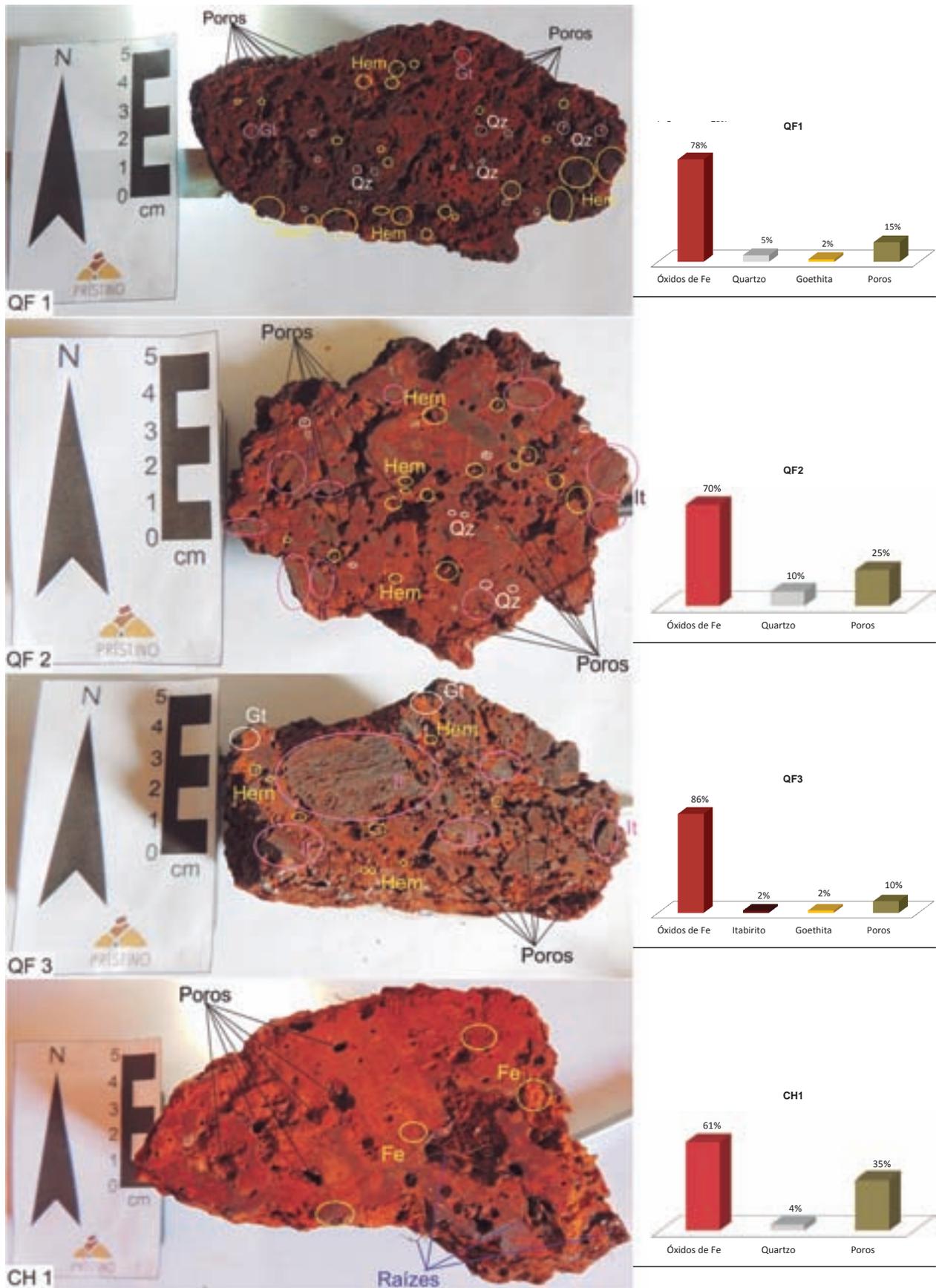


Figura 9 - Análise macroscópica de amostras de cangas do Quadrilátero Ferrífero. Hem: hematita; Fe: ferro; Gt: goethita; Qz: quartzo; It: itabirito.

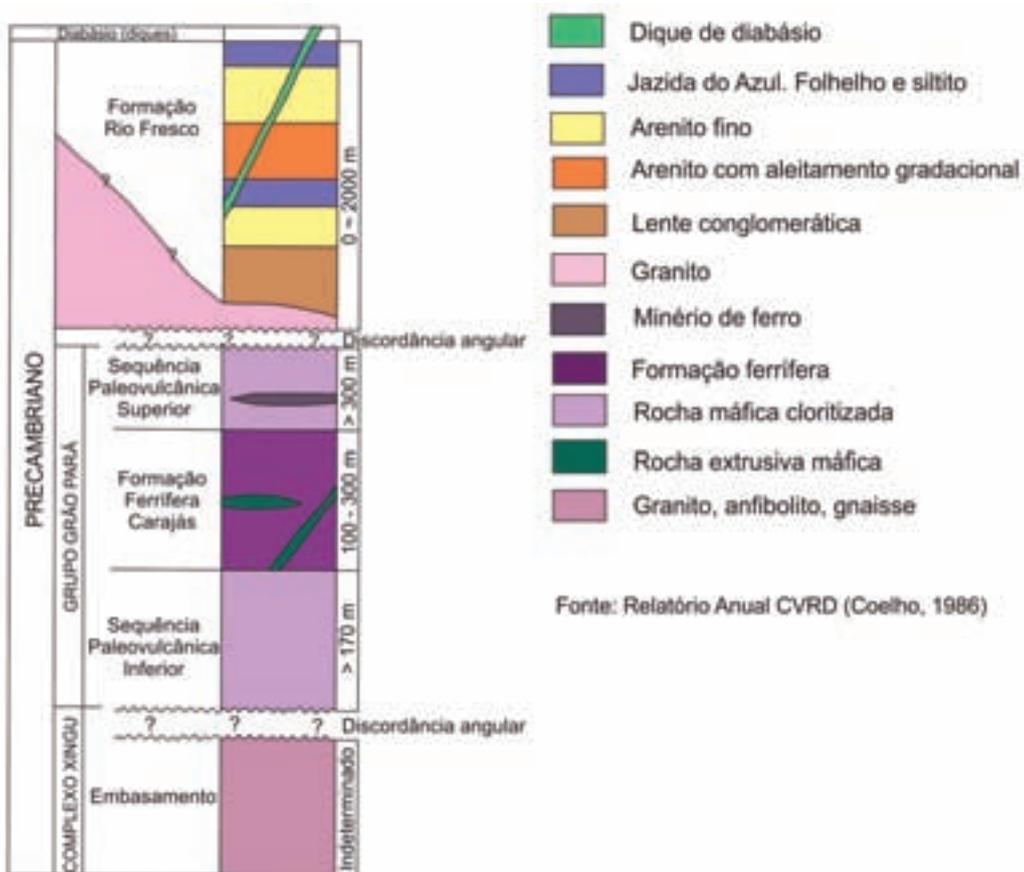
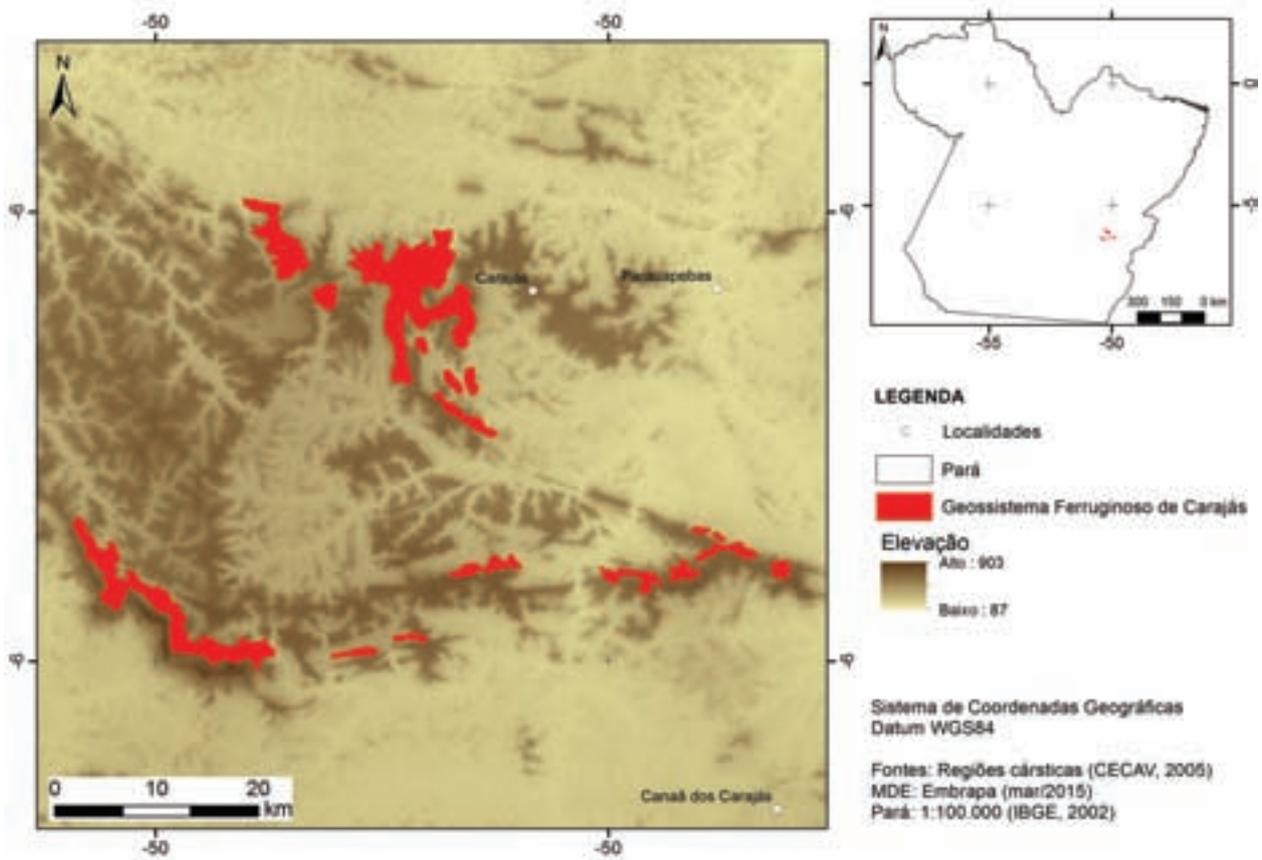


Figura 10 - Localização e estratigrafia do geossistema ferruginoso da Serra dos Carajás.

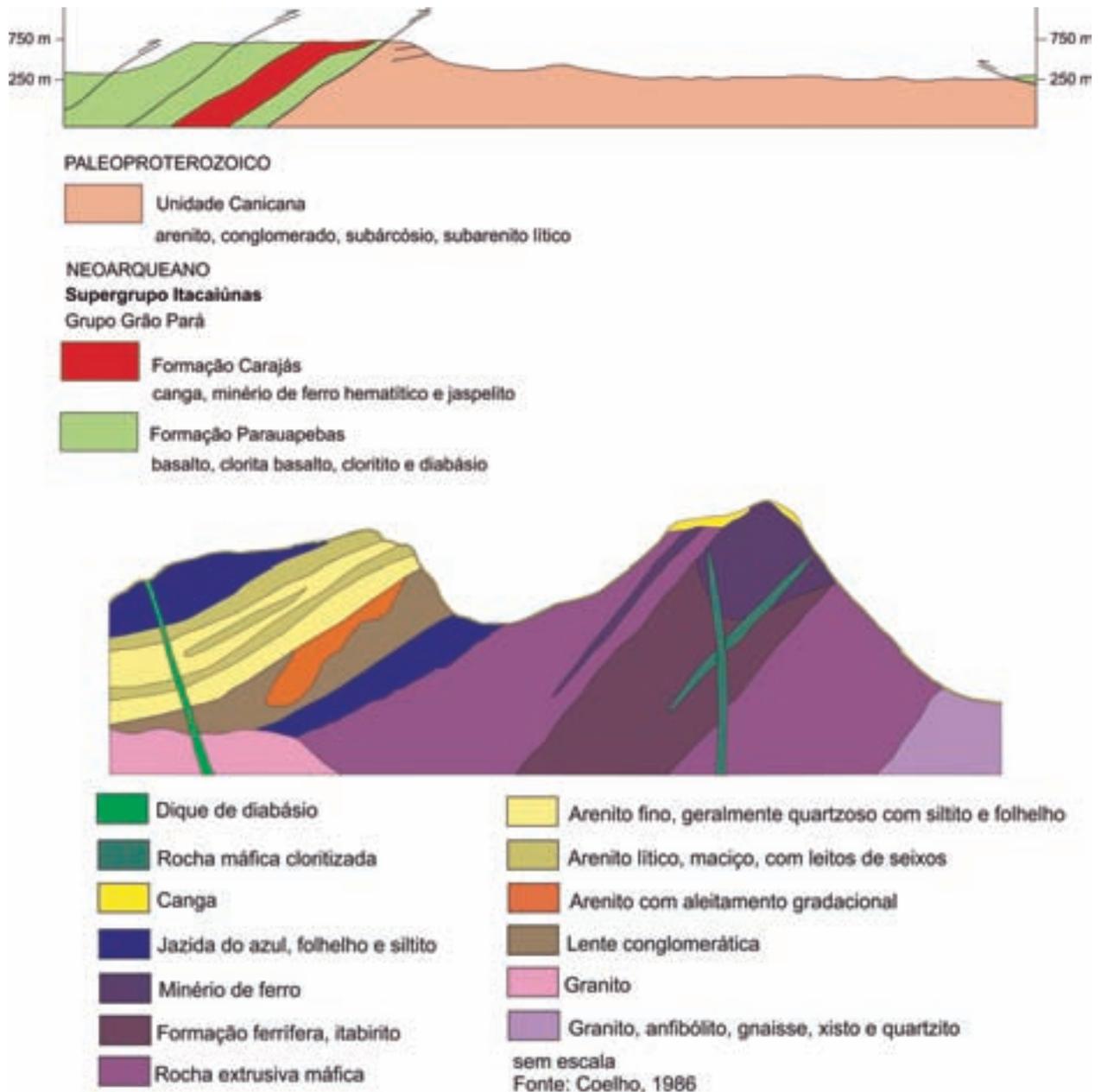


Figura 11 - Perfil geológico do geossistema ferruginoso da Serra dos Carajás.

Vale do Rio Peixe Bravo

O geossistema ferruginoso do Vale do Rio Peixe Bravo é composto por formações ferríferas do Grupo Macaúbas, Formação Nova Aurora, Membro Riacho Poções. Os primeiros estudos sobre rochas ferruginosas do Grupo Macaúbas surgiram na década de 1970 pela Companhia Vale do Rio Doce, cujos resultados foram divulgados por Viveiros *et al.* (1978) e Vilela (1986). Na década de 1990 foram realizados os mapeamentos geológicos na escala 1:100.000 pelo Projeto Espinhaço.

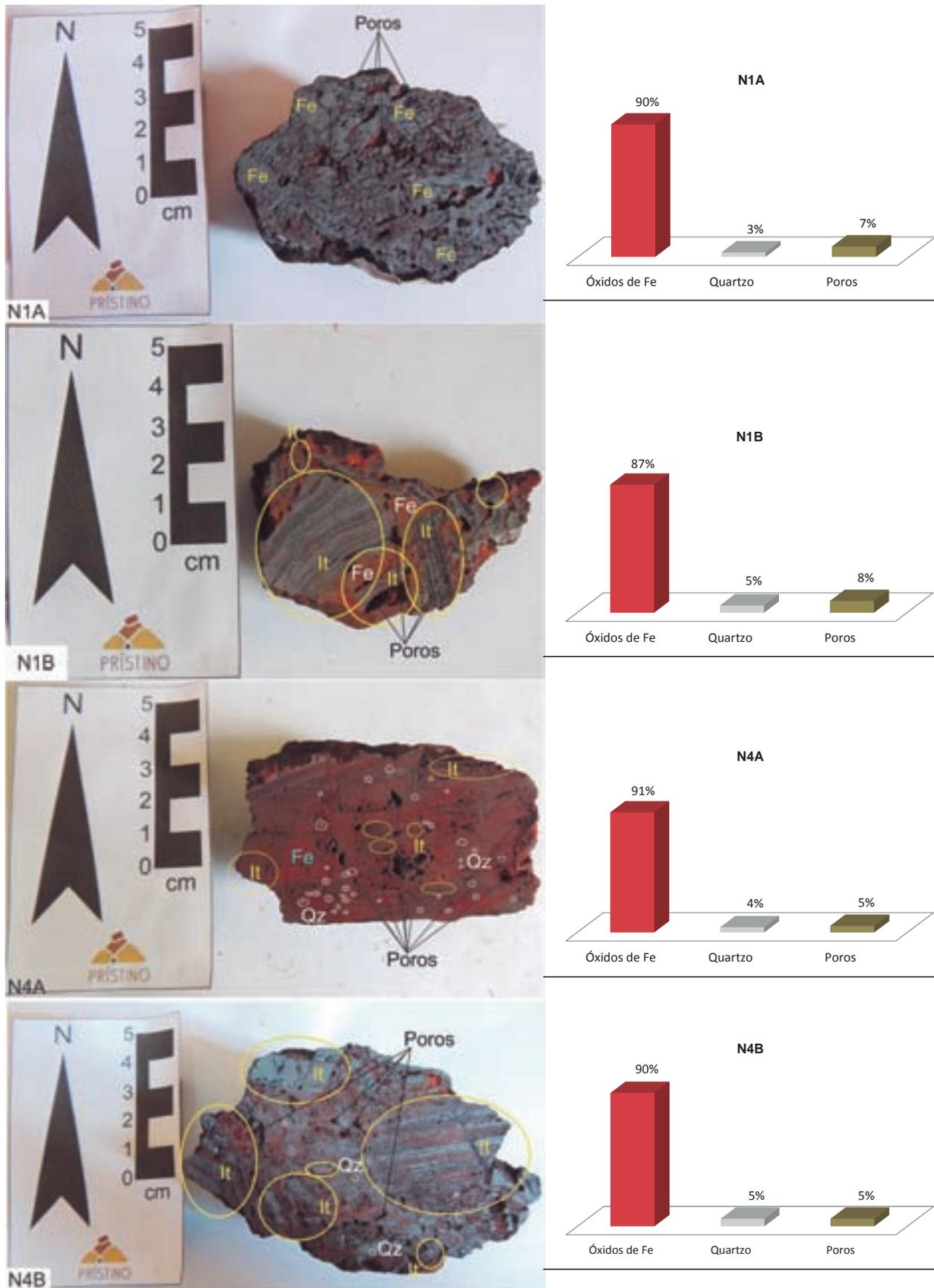


Figura 12 - Análise macroscópica de amostras de amostras de cangas de Carajás. Fe: ferro; It: itabirito; Qz: quartzo. As amostras foram coletadas na Serra Norte (N), nos setores N1 (N1A e N1B) e N4 (N4A e N4B).

A Formação Nova Aurora é uma unidade geológica de origem glaciomarinha em ambiente de rifte continental (Neoproterozoico), composta predominantemente por metadiamicritos, com quartzitos e filitos subordinados. O Membro Riacho Poções é uma unidade ferruginosa composta por metadiamicrito, quartzito e filito hematítico (Fig. 13 e 14).

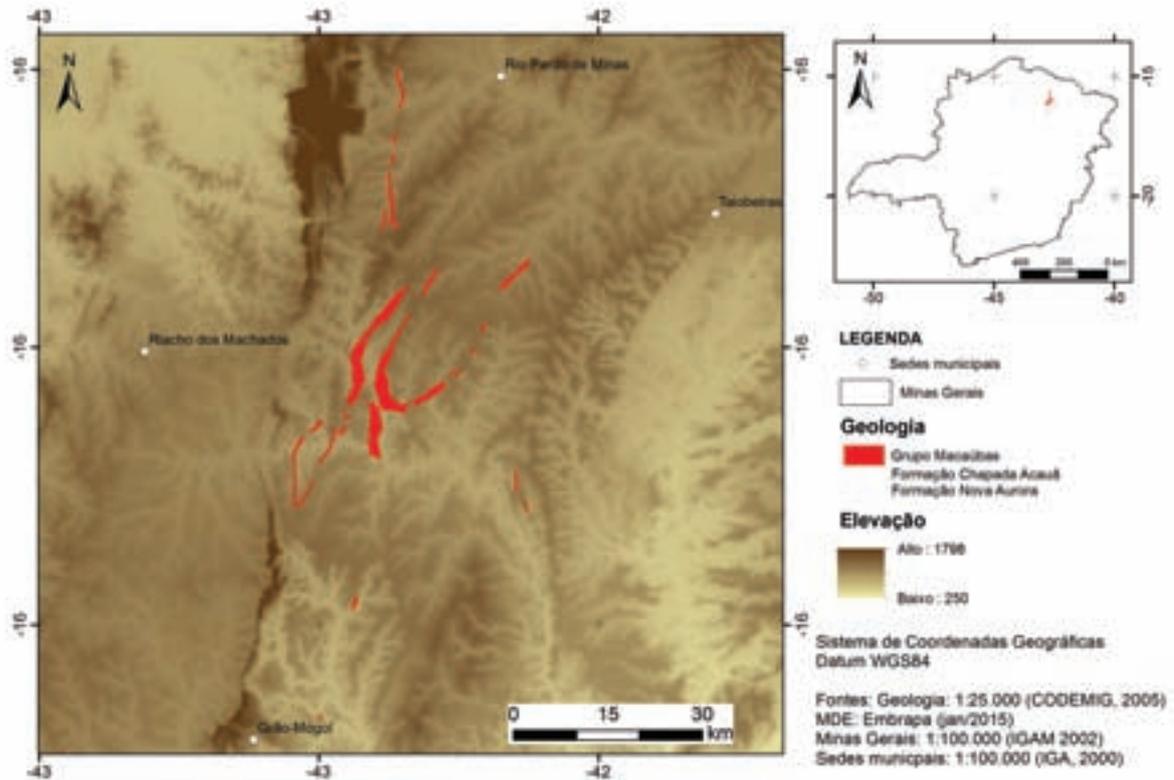


Figura 13 - Localização e estratigrafia do geossistema ferruginoso do Vale do Rio Peixe Bravo.

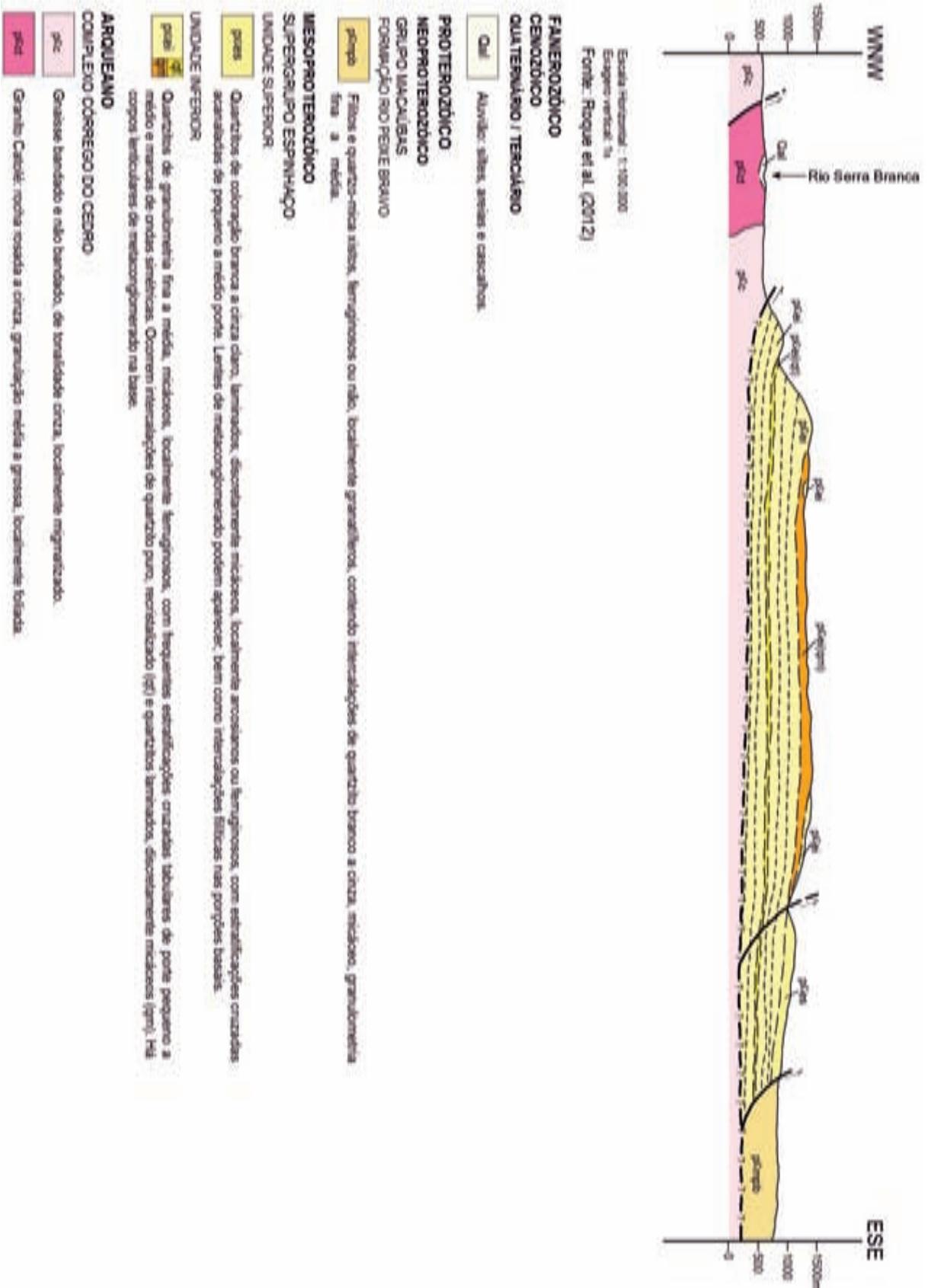


Figura 14 - Perfil geológico do geossistema ferruginoso do Vale do Rio Peixe Bravo e entorno.

No Vale do Rio Peixe Bravo destaca-se a presença de metadiamicrito ferruginoso e canga clasto suportada. A canga clasto suportada apresenta matriz composta por materiais de granulometria fina e o arcabouço é constituído por quartzo, hematita, goethita, itabirito e nódulos de concreções ferruginosas, cujos materiais possuem granulometria nas frações areia, grânulos e seixos. A amostra possui poros arredondados a subarredondados com dimensões que variam de 1mm a 4mm de diâmetro. A amostra de metadiamicrito ferruginoso encontra-se muito intemperizada e é composta por materiais de granulometria fina e areia. Destaca-se a presença de sílica na fração areia e a ocorrência de hematita e goethita. A amostra possui estruturas preenchidas por hematita (Fig. 15).

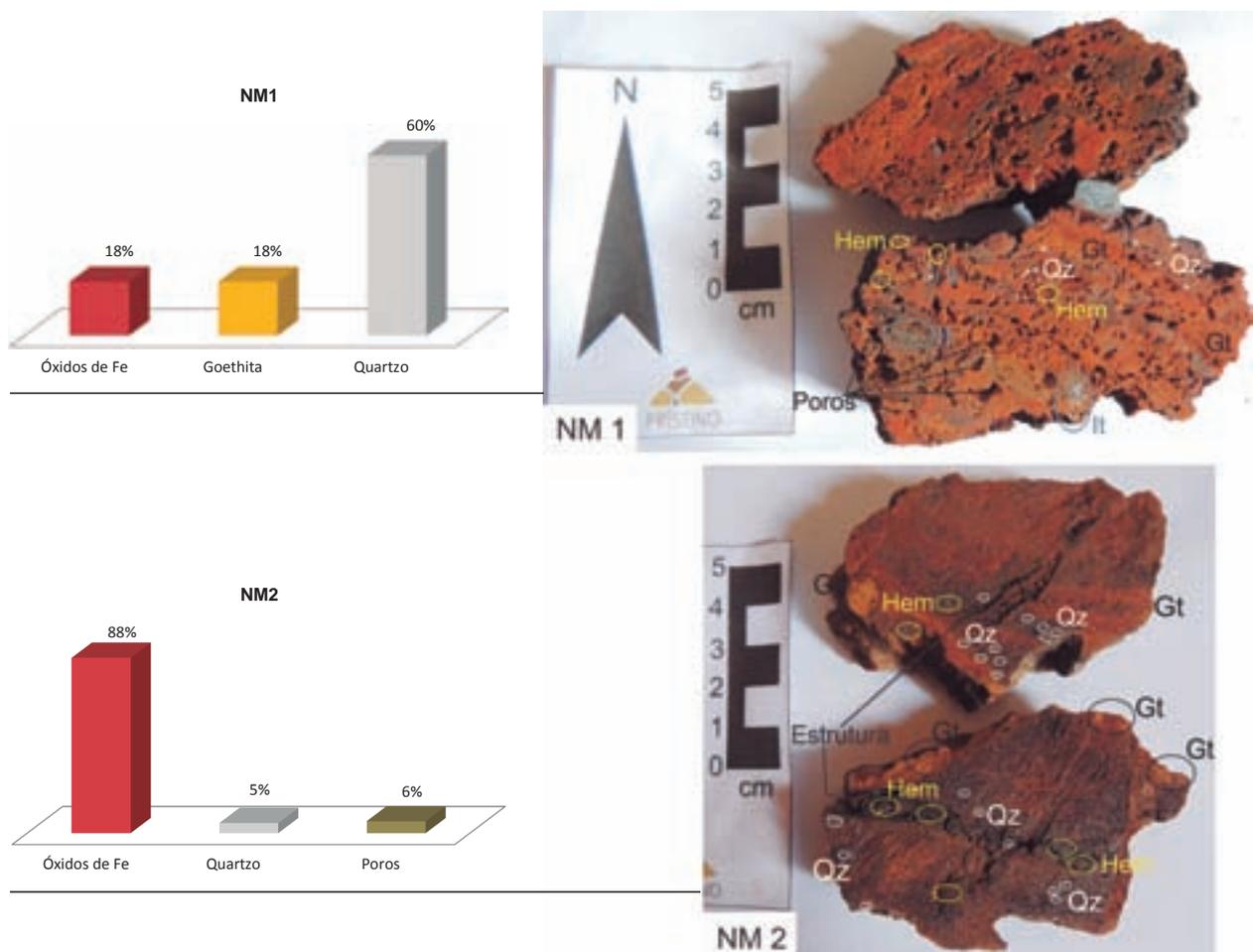


Figura 15 - Análise macroscópica de amostras de cangas (NM1) e metadiamicritos ferruginosos (NM2) muito intemperizados do Vale do Peixe Bravo, Norte de Minas Gerais. Hem: hematita; Gt: goethita; It: itabirito; Qz: quartzo.

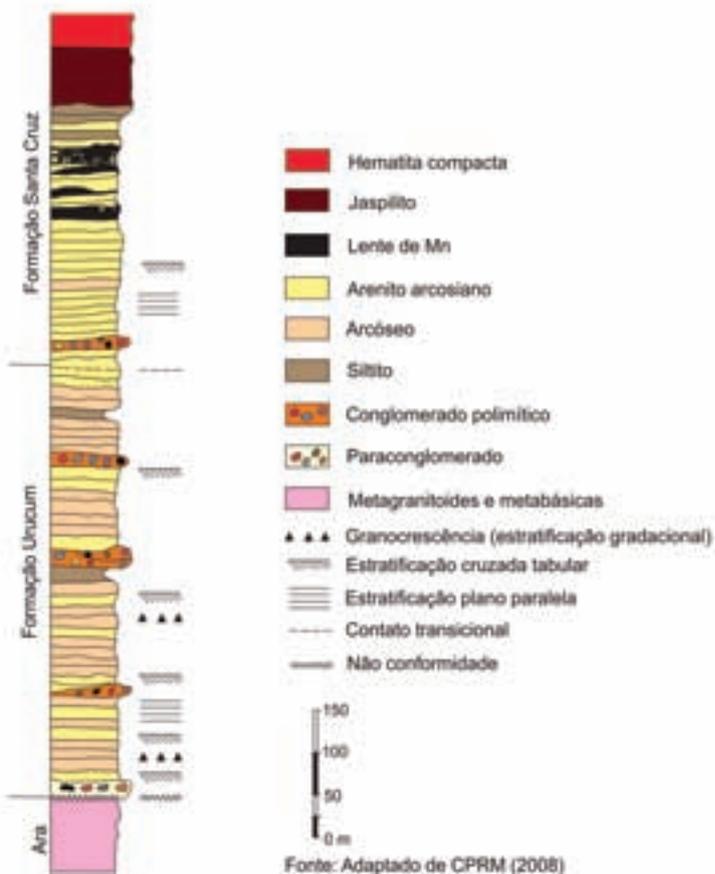
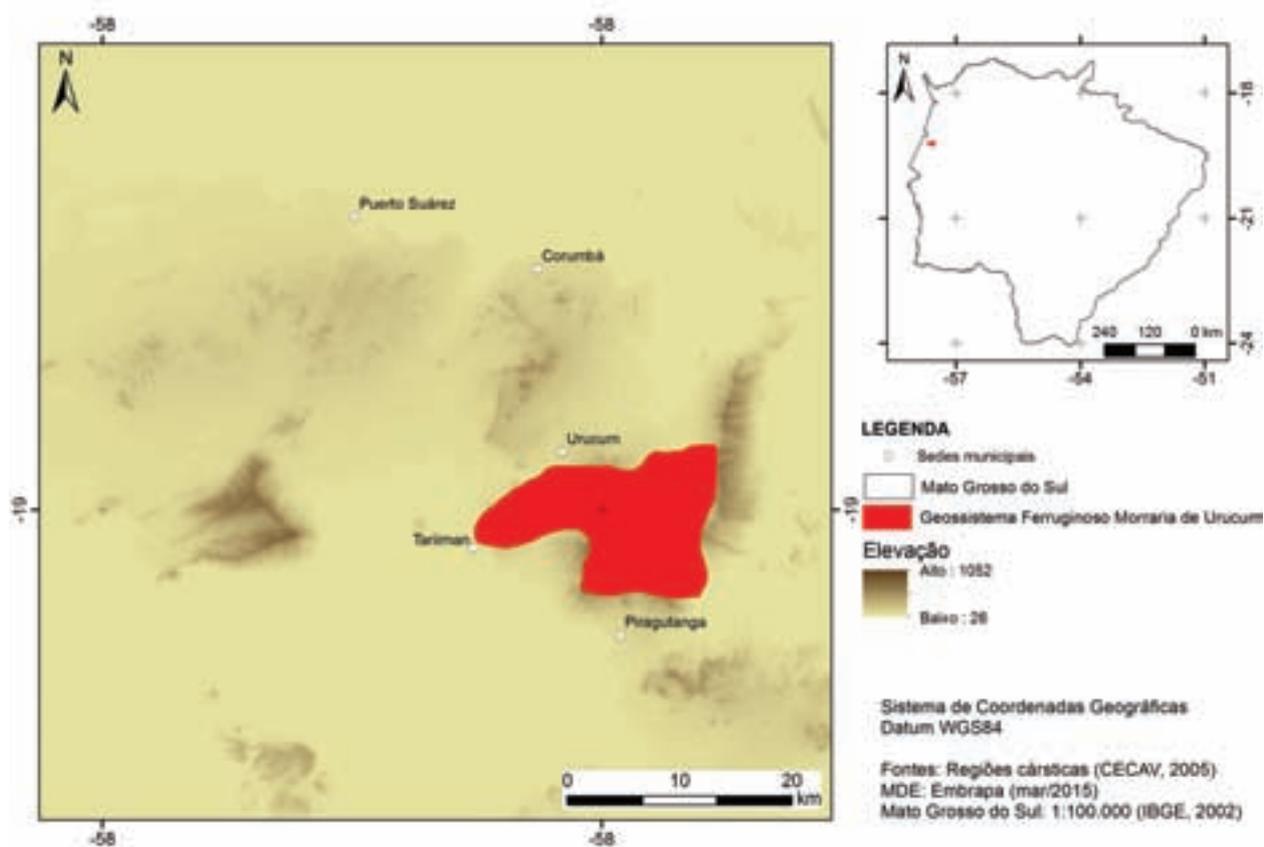


Figura 16 - Localização e perfil estratigráfico do geossistema ferruginoso da Morraria de Urucum.

Morraria de Urucum

O geossistema Morraria do Urucum (MS) é constituído por formações ferríferas do Grupo Jacadigo, Formação Santa Cruz (Neoproterozoico) (Fig. 16). A Formação Santa Cruz é subdividida em: Inferior, constituída por horizonte manganesífero e arenito ferruginoso com clastos pingados; e Superior, composta por horizontes manganesíferos recobertos por uma camada homogênea de formação ferrífera bandada (Haralyi & Walde, 1986).

Piacentini *et al.* (2007) descrevem a ocorrência de formações ferríferas associadas a diamictitos do Grupo Corumbá, Formação Puga (Neoproterozoico), que está situada em contexto geológico diferente das formações do Grupo Jacadigo (Fig. 17). As formações ferríferas da Formação Puga possuem teores de Fe_2O_3 que variam de 75% na base e topo do pacote a 52% nas

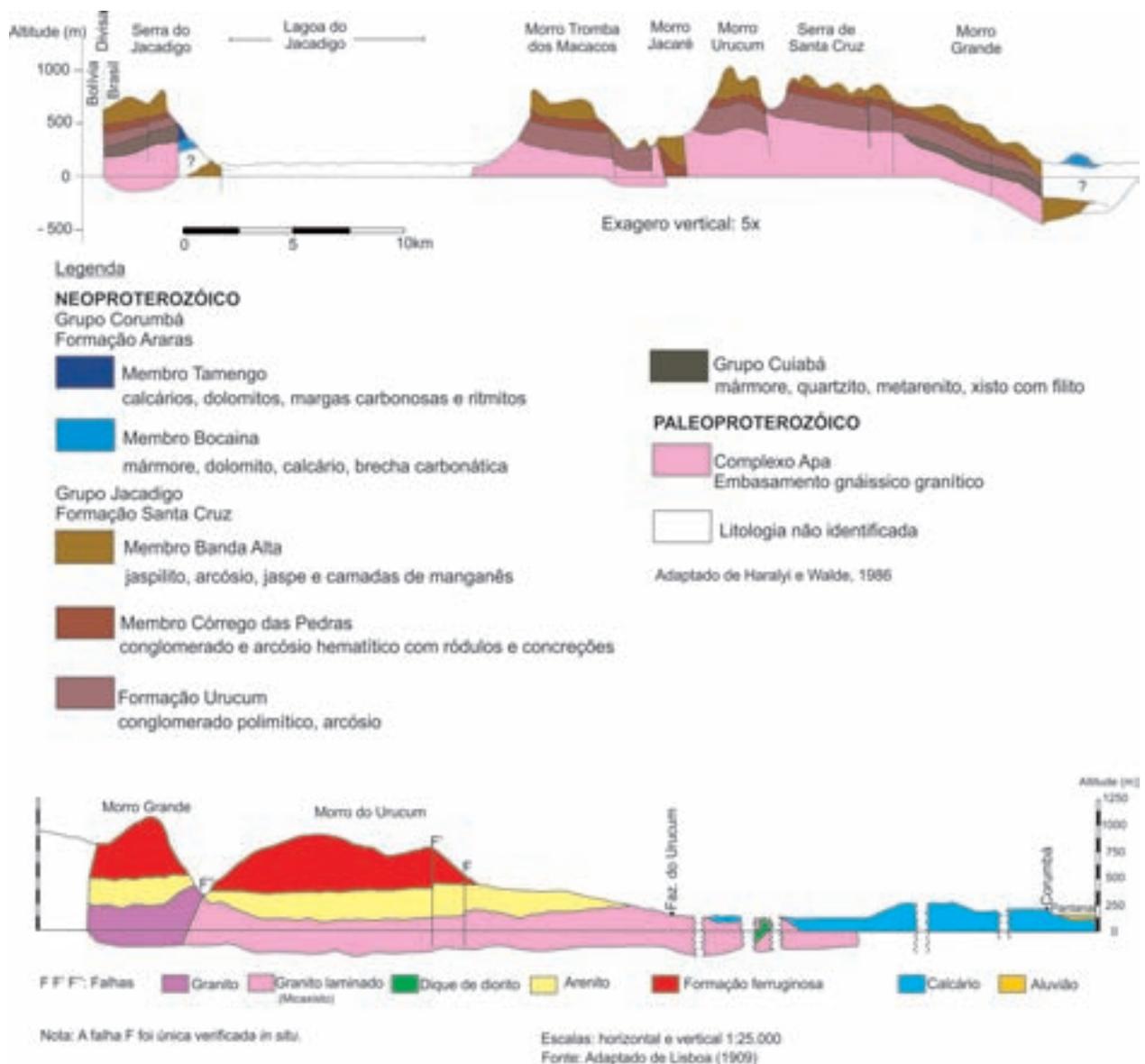


Figura 17 - Perfis geológicos do geossistema ferruginoso da Morraria de Urucum.

porções intermediárias da seção. As análises químicas mostraram a contribuição de Al_2O_3 e forte correlação com TiO_2 e Zr (Piacentini *et al.*, 2007).

As amostras da Morraria de Urucum envolveram os registros de canga detrítica ou clasto suportada e jaspilito. A canga clasto suportada é constituída por matriz ocre composta por material siltoso a arenoso. O arcabouço ortoconglomerático é composto por areia, grânulos e seixos de quartzo, hematita e concreções ferruginosas, que apresentam contato irregular entre os grãos, que são arredondados a subarredondados, em alguns casos mal selecionados. Essa rocha apresenta poros arredondados ou irregulares, cujos tamanhos variam de 1 a 7mm de diâmetro. Destaca-se a presença de material orgânico na amostra. O jaspilito apresenta alternância entre camadas de formações ferruginosas e sílica, a rocha é composta por material de granulometria fina e possui algumas fraturas verticais (Fig. 18).

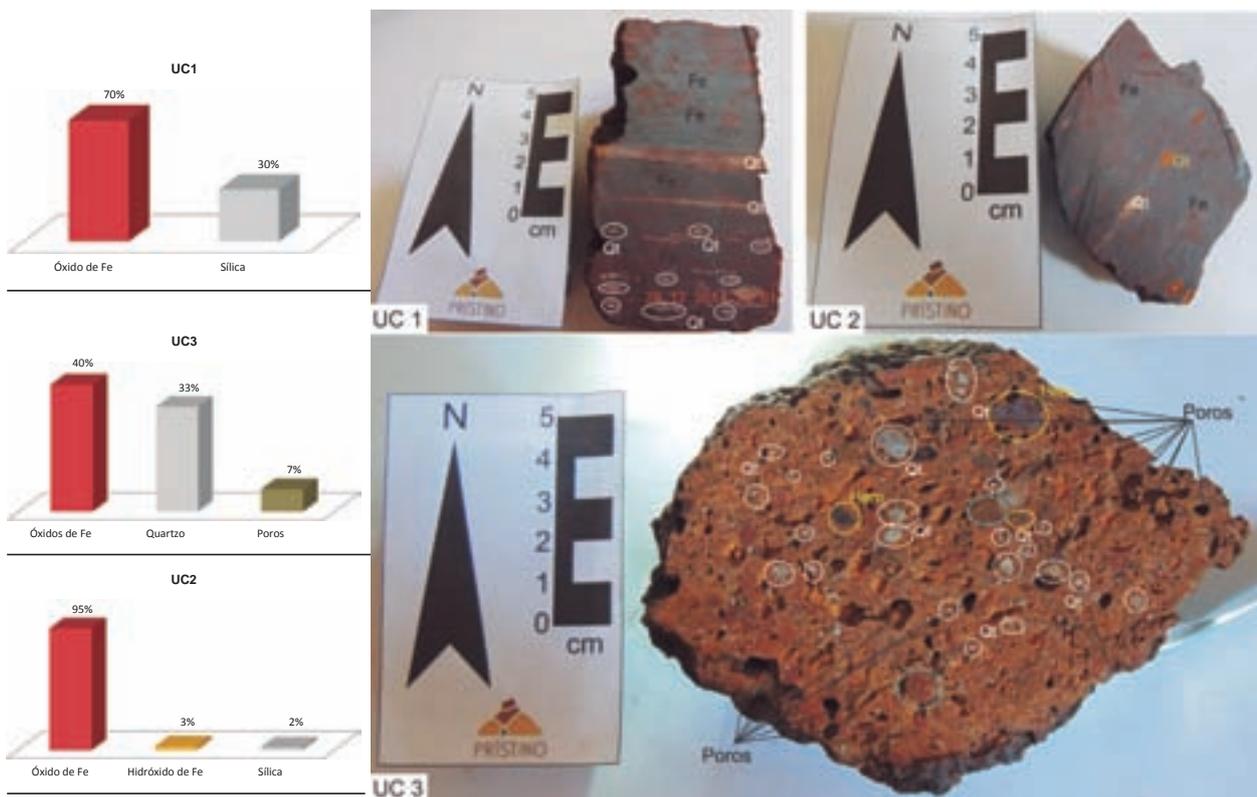


Figura 18 - Análise macroscópica de amostras de jaspilitos (UC1 e UC2) e canga (UC3) da Morraria de Urucum, Corumbá/MS. Hem: hematita; Fe: ferro; Gt: goethita; Qz: quartzito\quartzo\sílica.

Bacia do Rio Santo Antônio

O geossistema ferruginoso da bacia do Rio Santo Antônio localiza-se no leste da Serra do Espinhaço Meridional (SdEM), em Minas Gerais, e é composto por cangas (Cenozoico), FFBs do Grupo Serra da Serpentina, Unidade Itabirítica ou Intermediária (Paleo-Mesoproterozoico) e formações ferríferas do Complexo Guanhães (Grossi-Sad *et al.*, 1997). Este geossistema está estruturado predominantemente ao longo da faixa N-S e possui alguns prolongamentos NW-SE (Figs. 19 e 20).

As cangas e itabiritos estão localizados principalmente nos topos da Serra da Serpentina, Serra do Sapó, Serra da Ferrugem e Serra da Escadinha. Destaca-se também a ocorrência de formações ferríferas em Morro do Pilar. Todos esses depósitos possuem características mineralógicas e químicas semelhantes, sendo compostos por quartzo, hematita (especular, tabular e globular) e magnetita. Havia ocorrência de minérios de ferro compacto, friável e hematitas (Grossi-Sad *et al.*, 1997).

Conforme Geonature (2012), a Unidade Itabirítica do Grupo Serra da Serpentina é composta por itabiritos de cor cinza claro a cinza escuro, localmente negra azulada, formada por alternâncias de camadas quartzozas milimétricas a centimétricas e camadas de hematita, magnetita ou especularita cinza escuro ou negra. Dussin (1985) acrescenta que a gênese dessas BIFs é associada a Lago Superior, devido a sua potência, persistência lateral, mineralogia e ausência de indicativos de vulcanismos associados.

Na Serra da Escadinha, os itabiritos estão localizados, principalmente, em escarpas, cristas, blocos e pontões rochosos e possuem espessura de 30 a 50m na confluência entre o Rio Mata Cavalo e o Córrego das Lages. As cangas correspondem geralmente à canga detrítica, não estruturada, composta por clastos e seixos de itabiritos e hematita compacta cimentados por matriz limonítica e, geralmente, recobrem as fácies de itabiritos (Geonature, 2012).

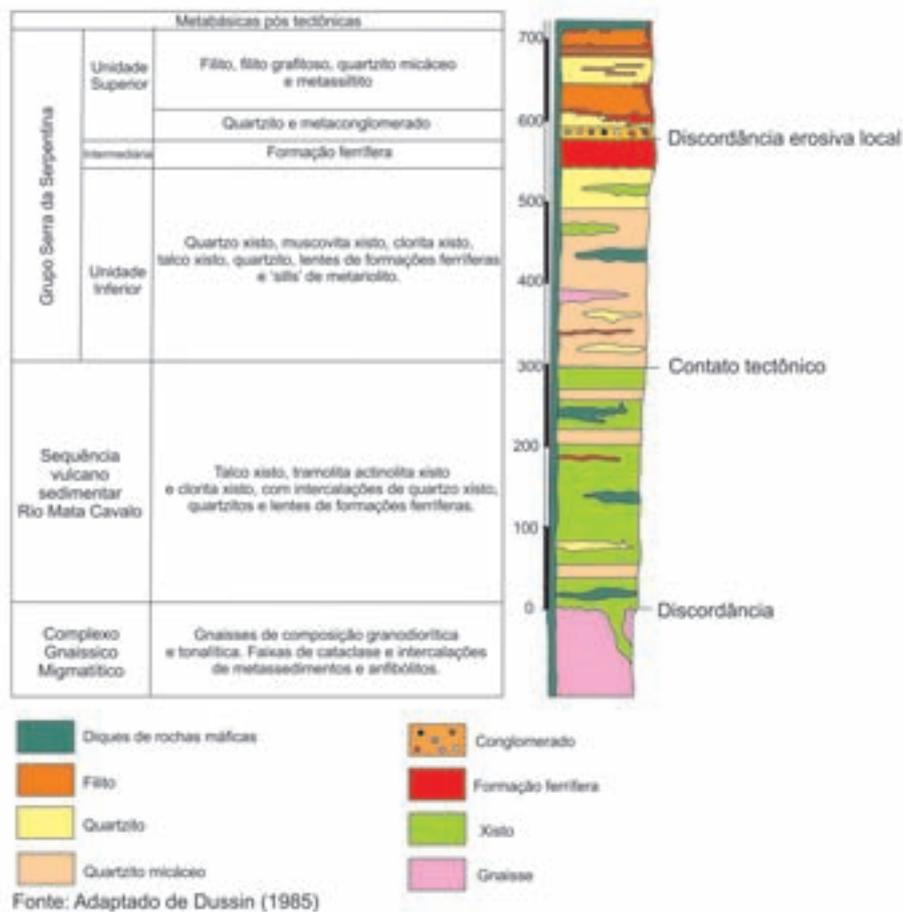
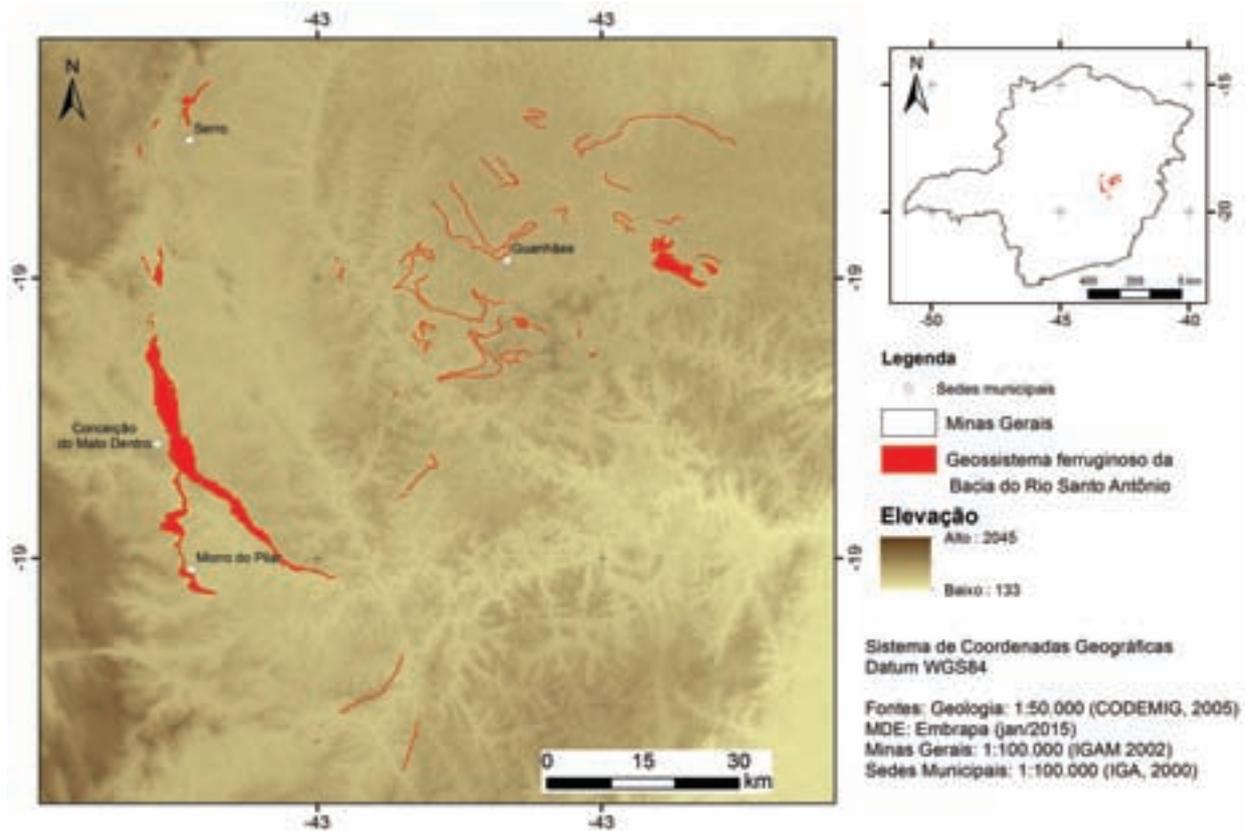


Figura 19 - Localização e perfil estratigráfico do geossistema ferruginoso da bacia do Rio Santo Antônio.

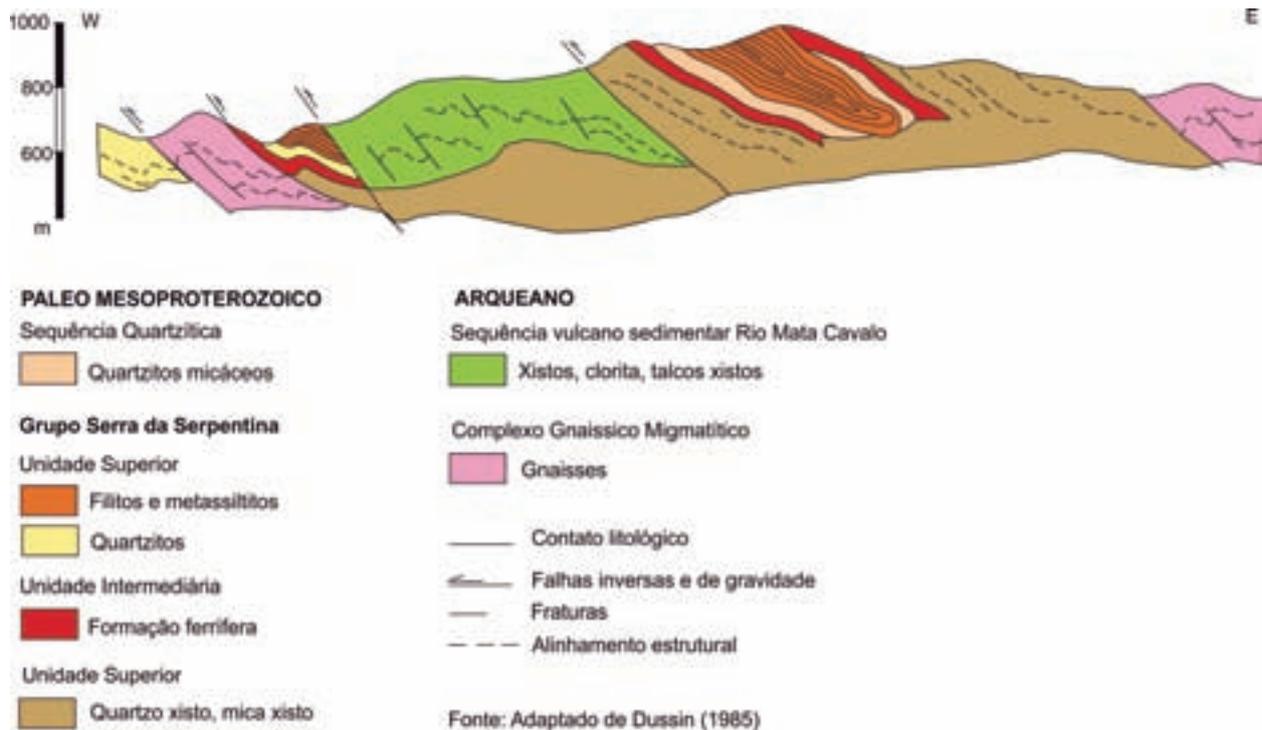


Figura 20 - Perfil geológico no geossistema ferruginoso da bacia do Rio Santo Antônio.

A partir da análise macroscópica das amostras de rochas, registra-se a diversidade de cangas e formações ferruginosas no Brasil, o que pode ser verificado a partir de características como coloração, diversidade mineralógica, relação entre matriz e arcabouço e, por fim, variedade na quantidade e distribuição dos poros. Os diferentes tipos de cangas que ocorrem nos geossistemas ferruginosos estão associados à origem supergênica, ao ambiente deposicional e aos processos químicos e físicos envolvidos na gênese dessas rochas.

Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração de Frederico Drumond Martins, gerente da FLONA Carajás, e da Prof^a Adriana Takahashi (UFMS) pelo envio de amostras de cangas, e ao CPMTC/IGC/UFMG pela laminação das amostras.

Referências Bibliográficas

- Alkmim, F.F. & Marshak, S. 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90: 29-58.
- Alves, J.E.S. 2008. *Mapeamento geológico e análise estrutural multiescalar do cinturão de dobramentos e cavalgamentos da Serra do Espinhaço Setentrional, Caetité, Bahia*. Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia. Salvador: Universidade Federal da Bahia. 112 p.
- Augustin, C.H.R.R.; Lopes, M.R.S. & Silva, S.M. 2013. Lateritas: um conceito ainda em construção. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 14 (3): 241-257.
- Beauvais, A. & Tardy, Y. 1991. Formation et degradation des cuirasses ferrugineuses sous climat tropical humide, à la lisière de la forêt équatoriale. *C. R. Acad. Sci., Paris*, 13: 1539-1545.
- Bekker, A. 2010. Iron Formation: the sedimentary product of a complex interplay among mantle, tectonic, oceanic, and biospheric processes. *Economic Geology*, 105: 467-508.
- Brown, E.T.; Bourlès, D.L.; Colin, F.; Sanfo, Z.; Raisbeck, G.M. & Yiou, F. 1994. The development of iron crust lateritic systems in Burkina Faso, West Africa examined with in-situ-produced cosmogenic nuclides. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 124: 19-33.
- Chemale Jr., F.; Quade, H. & Santana, F.C. 1987. Economic and structural geology of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Precambrian Research*, 65: 25-54.
- Christofoletti, A. 1979. *Análise de Sistemas em Geografia*. São Paulo: Hucitec/Edusp.
- Coelho, C.E.S. 1986. Depósitos de Ferro da Serra dos Carajás, Pará. In: Schobbenhaus, C.; Coelho, C.E.S. *Principais Depósitos Minerais do Brasil: ferro e metais da indústria de aço 2*. p. 31-64.
- Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais – CPRM. 2008. Relatório das Folhas SE.21-Y-D (Corumbá), SF.21-V-B (Aldeia Tomázia) e SF.21-V-D (Porto Murtinho). In: Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais – CPRM. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. p. 9-31.
- Dias, J. & Santos, L. 2007. A paisagem e o geossistema como possibilidade de leitura da expressão do espaço socioambiental rural. *Confins*, n. 1.
- DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. 2007. Anuário Mineral Brasileiro. Disponível em: www.dnpm.gov.br
- DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. 2014. *Sumário Mineral*. Coordenadores: Lima, T.M. & Neves, C.A.R. Brasília: DNPM. 141 p.
- Dorr, J. v.N. 1964. Supergene iron ores of Minas Gerais, Brazil. *Economic Geology*, 59 (7): 1203-1240.
- Dorr, J.v.N. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *USGS. Prof. Paper 641-A*. Washington. 110 p.
- Dorr, J.v.N. 1973. Iron-formation in South America. *Economic Geology*, 68: 1005-1022.

- Dussin, T.M. 1985. *Geologia e Geoquímica das Formações Ferríferas da Serra da Serpentina, Conceição do Mato Dentro – MG*. [manuscrito]. Dissertação (mestrado em Geologia). Brasília: Universidade de Brasília. 147 p.
- Eschwege, W. 2005. Quadro geognóstico do Brasil e a provável rocha matriz dos diamantes. *Revista Geonomos*, 13: 97-109. Disponível em: <<http://www.igc.ufmg.br/portaldelperiodicos/index.php/geonomos/article/view/140>>. Acesso em: 30 jan. 2015.
- Ferreira, J.; Aragão, L.E.O.C.; Barlow, J.; Barreto, P.; Berenger, E.; Bustamante, M.; Gardner, T.A.; Lees, A.C.; Lima, A.; Louzada, J.; Pardini, B.; Parry, L.; Peres, C.A.; Pompeu, P.S.; Tabarelli, M. & Zuanon, J. 2014. Brazil's environmental leadership at risk. *Science*, 346: 706-707.
- Geonature. 2012. *Estudo de Impacto Ambiental – Meio Físico*. v. 3. Tomo I. Belo Horizonte: Morro do Pilar Minerais S.A.
- Grossi-Sad, J.H.; Lobato, L.M.; Pedrosa Soares, A.C.; Soares Filho, B.S. 1997. Geologia da Folha de Conceição do Mato Dentro. In: Grossi-Sad, J.H.; Lobato, L.M.; Pedrosa Soares, A.C. & Soares Filho, B.S. *Projeto Espinhaço*. Belo Horizonte: Companhia Mineradora de Minas Gerais.
- Haralyi, N.L.E. & Walde, D.H.G. 1986. Os minérios de ferro e manganês na região de Urucum, Corumbá, Mato Grosso do Sul. 1986. In: Schobbenhaus, C.; Coelho, C.E.S. *Principais Depósitos Minerais do Brasil: ferro e metais da indústria de aço*, 2. p. 127-144.
- Klein, C. 2005. Some Precambrian banded iron-formation (BIFs) from around the world: their age, geologic setting, mineralogy, metamorphism, geochemistry, and origin. *American Mineralogist*, 90: 1473-1499.
- Lima, H.M.; Flores, J.C.C. & Costa, F.L. 2006. Plano de recuperação de áreas degradadas versus plano de fechamento de mina: um estudo comparativo. *REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto*, 59(4): 397-402.
- Lindenmayer, Z.G.; Laux, J.H. & Teixeira, J.B.G. 2001. Considerações sobre a origem das Formações Ferríferas da Formação Carajás, Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(1): 21-28.
- McFarlane, M.J. 1976. *Laterite and Landscape*. London: Acamedic Press. 151p.
- Meyer, R. 1997. *Paleolaterites and Paleosols*. Rotterdam: Balkema, A.A. 151p.
- Monteiro, H.S.; Vasconcelos, P.M.; Farley, K.A.; Spier, C.A.; Mello, C.L. 2014. U-Th/He geochronology of goethite and the origin and evolution of cangas. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 131: 267-289.
- Pereira, R.M.P. 2009. *Geologia da Região Sul da Serra Norte e Características do Minério de Ferro do Depósito N8, Província Mineral Carajás*. Dissertação (Mestrado em Geologia). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. 143 p.
- Piacentini, T.; Boggiani, P.C.; Yamamoto, J.K.; Freitas, B.T. & Campanha, G.A.C. 2007. Formação Ferrífera associada à sedimentação glaciogênica da Formação Puga (Marinoano) da Serra da Bodoquena, MS. *Revista Brasileira de Geociências*, 37 (3): 530-541.
- Prado-Filho, J.F. & Souza, M.P. 2004. O licenciamento ambiental da mineração no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais – uma análise da implementação de medidas de controle ambiental formuladas em EIAs/RIMAS. *Eng. Sanit. Ambient.*, 9: 343-349.

Rosière, C.A. & Chemale Jr., F. 2000. Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero – uma visão geral e discussão. *Geonomos*, 8(2): 27-43.

Rosière, C.A.; Renger, F.E.; Piuzana, D. & Spier, C.A. 2005. *Pico de Itabira, MG - Marco estrutural, histórico e geográfico do Quadrilátero Ferrífero*. In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E.T.; Campos, D.A.; Souza, C.R.G. & Fernandes, A.C.S. *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Disponível em: <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio042/sitio042.pdf> Acesso em: 21 jun. 2005.

Ruchkys, U.A.; Renger, F.E.; Noce, C.M. & Machado, M.M.M. 2007. *Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero, MG - da lenda do Sabarabuçu ao patrimônio histórico, geológico, paisagístico e religioso* In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E.T.; Campos, D.A.; Souza, C.R.G. & Fernandes, A.C.S. *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Disponível em: <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio129/sitio129.pdf>

Salgado, A.A.R.; Colin, F.; Nalini Jr, H. A.; Braucher, R.; Varajão, A.F.D.C. & Varajão, C.A.C. 2004. O Papel da Denucação Geoquímica no Processo de Erosão Diferencial no Quadrilátero Ferrífero/MG. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 5 (1): 55-69.

Schobbenhaus, C. & Coelho, C.E.S. 1986. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil: Ferro e Metais da Indústria do Aço. Brasília: DNPM. 501 p.

Simmons, G.C. 1960. Origin of Certain Cargas of the Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais, Brazil. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 9 (2): 37-59.

Sonter, L.J., Barret, D.J., Soareas-Filho, B. & Moran, C.J. 2014. Global demand for steel drives extensive land-use in Brazil's Iron Quadrangle. *Global Environmental Change*, 26: 63-72.

Sotchava, V.B. 1977. *O estudo de geossistemas*. Instituto de Geografia. Universidade Estadual de São Paulo. São Paulo: Ed. Lunar.

Trendall, A.F.; Basei, M.A.S.; Laeter, J.R. & Nelson, D.R. 1998. Shrimp zircon U-Pb constraints on the age of the Carajás formation, Grão Pará Group, Amazon Craton. *Journal of South America Earth Sciences*, 11: 265-277.

Vilela, F.T. 2010. *Caracterização de Metadiamicititos Ferruginosos da Formação Nova Aurora (Grupo Macaúbas, Orógeno Araçuai) a Oeste de Salinas, MG*. Dissertação (Mestrado em Geologia). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. 135 p.

Vilela, O.V. 1986. As jazidas de minério de ferro de Porteirinha, Rio Pardo de Minas, Riacho dos Machados e Grão Mogol, norte de Minas Gerais. In: Schobbenhaus, C.; Coelho, C.E.S. *Principais Depósitos Mineraiis do Brasil: ferro e metais da indústria de aço*, 2. p. 111-120.

Viveiros, J.F.M.; Sá, E.L.; Vilela, O.M.; Moreira, J.M.P.; Holder Neto, F. & Vilela, V.S. 1978. Geologia dos vales dos rios Peixe Bravo e Alto Vacaria, norte de Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife, SBG. *Anais*. 1: 243-254.

Walde, D.H.G. 1986. Geologia do Ferro. In: Schobbenhaus, C.; Coelho, C.E.S. *Principais Depósitos Mineraiis do Brasil: ferro e metais da indústria de aço*, 2. p. 3-6.

Winge, M. 1999. O que é um sítio geológico? In: *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil, SIGEP*. Disponível em: <http://www.unb.br/ig/sigep/apresenta.htm>

SOLOS DESENVOLVIDOS SOBRE CANGA FERRUGINOSA NO BRASIL: UMA REVISÃO CRÍTICA E PAPEL ECOLÓGICO DE TERMITEIROS

Carlos Ernesto Schaefer, Hugo Galvão Cândido, Guilherme Resende Corrêa, Aianã Pereira,
Jaqueline Alves Nunes, Og Francisco Souza, Alessandra Marins, Elpídio Fernandes Filho & João Carlos Ker

Introdução

Os Campos Rupestres Ferruginosos são formações herbáceo-arbustivas, associadas a afloramentos de rochas ricas em ferro (itabiríticas/jaspelíticas), normalmente formados da decomposição de canga ou outros substratos ferruginosos afins. Os Campos Rupestres Ferruginosos estão incluídos no tipo de vegetação aberta associada com afloramentos rochosos (Rizzini, 1979; Jacobi & Carmo, 2011), denominada por Semir (1991) como Complexo Rupestre. Veloso (1991) classifica tal vegetação como refúgios ou relíquias, floristicamente diferente da flora dominante circundante. A vegetação associada a afloramentos de rocha ferruginosa também foi chamada “Campo Rupestre sobre canga” (Morelato & Rosa, 1991; Silva, 1992). No Brasil, ocorrem principalmente como ilhas de vegetação aberta na região do Quadrilátero Ferrífero - QF, em Minas Gerais e na Serra dos Carajás, no Pará. Nos dois casos, os solos de ocorrência possuem muitas peculiaridades que revelam uma adaptação extraordinária das plantas a um cenário edáfico extremamente restritivo, tanto físico, quanto quimicamente. Do ponto de vista climático e de paisagem, as duas regiões são bem distintas. Assim, os solos de Canga associados aos jaspilitos ferruginosos da Serra dos Carajás representam um pedossistema ferruginoso muito útil para comparação aos solos de canga do QF, por serem substratos rochosos igualmente muito intemperizados e oxidícos, profundos, velhos, e submetidos à gênese policíclica.

O QF é uma região montanhosa situada na porção sul da Cadeia do Espinhaço, que corta o Estado de Minas Gerais no sentido Norte-Sul. O QF possui um relevo estrutural, e sua paisagem é fortemente controlada pela resistência das rochas quartzitos e itabiritos que formam a “moldura” quadrangular da região (Figura 1). Em virtude de sua riqueza mineral, atividades econômicas de extração de bens minerais no Quadrilátero se estabeleceram desde o período colonial, quando surgiram vilas e cidades, como Mariana, Ouro Preto, Congonhas, Sabará, Nova Lima, entre outras. Atualmente, alguns trabalhos têm aventado um incremento da atividade minerária e da urbanização, exercendo pressão variada sobre remanescentes de ecossistemas desenvolvidos sobre substratos ferríferos (Jacobi *et al.*, 2007; Carmo *et al.*, 2012; Ferreira *et al.*, 2014; Sonter *et al.*, 2014; Nunes *et al.*, 2015). Não há, contudo, uma quantificação correta nem precisa destas pressões, apesar de avanços recentes (Jacobi *et al.*, 2011), nem um quadro realista da extensão dos remanescentes em tempos atuais.

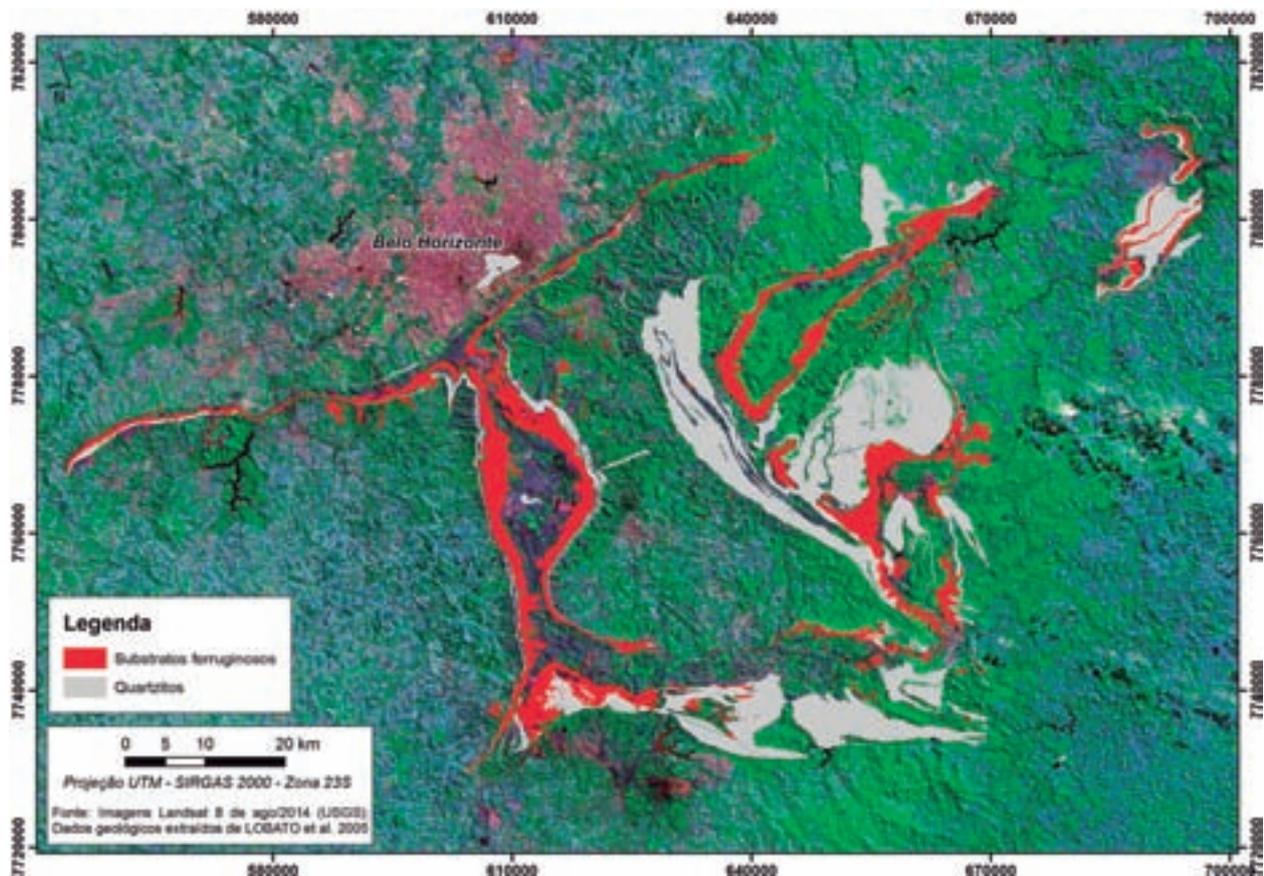


Figura 1 - O Quadrilátero Ferrífero, distribuição de formações ferríferas (vermelho) e formações quartzíticas (branco). Dados baseados em Lobato et al., (2005).



Figura 2 - Paisagem do Campo Rupestre Arbustivo sobre Neossolo Litólico desenvolvido de canga de itabirito, Serra da Moeda. Foto: A. F. S. Pereira.

Nesta região montanhosa, substratos desenvolvidos de itabirito ricos em ferro mostram o desenvolvimento de Campos Rupestres Lateríticos, também chamados Campos Ferruginos (Figuras 2, 3 e 5), ou ainda “vegetação de canga” (Vincent 2004; Viana & Lombardi 2007). Tais ecossistemas se distribuem nos platôs mais elevados e nas cristas serranas, principalmente entre 900–1800 m, sobre substratos rochosos lateríticos e solos rasos, ferruginosos. São colonizados por plantas adaptadas a ambientes oligotróficos, especialistas, capazes de tolerar um conjunto de características ambientais limitantes, como solos rasos, *deficit* hídrico, baixa fertilidade, alta concentração de ferro oxidado, baixa retenção de água, além de amplitudes térmicas diárias acentuadas, incidência frequente de fogo, alta exposição solar e ventos constantes (Santos & Varajão, 2004; Vincent, 2004; Jacobi *et al.*, 2007). A vegetação revela inúmeras adaptações anatômicas, morfológicas, fisiológicas e reprodutivas, que permitem sua sobrevivência neste ambiente adverso. O clima da região é do tipo Cwa classificação de Köppen, do tipo temperado quente, com estação seca de abril a setembro e chuvosa de outubro a março.

Com base na cartografia geológica disponível (CPRM), do total aproximado de 700.000 ha do QF, aproximadamente 90.800 ha (perfazendo 13% da área) são constituídos de formações ferríferas, com solos geralmente rasos, tais como Neossolos Litólicos, Cambissolos e Plintossolos Pétricos, com cobertura vegetal rupestre, fisionomias de campo ao cerrado e vegetação florestal altomontana, esta última nos bolsões de Latossolos (Figura 4).

Embora exista um relativo acervo de conhecimentos sobre a flora encontrada nas formações ferríferas do Quadrilátero Ferrífero, que revelam sua rica diversidade, presença de endemismos e espécies ameaçadas de extinção (Porto & Silva, 1989; Mendonça & Lins, 2000; Vincent, 2004; Jacobi *et al.*, 2007; Mourão & Stehmann, 2007; Viana & Lombardi, 2007), ainda se conhece relativamente pouco sobre os solos associados, em função de sua limitada aptidão ao cultivo agrícola e extrema pobreza, além da distribuição relativamente restrita de ocorrência. No entanto, estudos pedológicos específicos no Quadrilátero Ferrífero podem ser muito úteis quando se pretende desenvolver técnicas específicas para regeneração da vegetação nativa em áreas degradadas, como superfícies mineradas (e.g. Santos & Neto, 2006; 2008).

Neste sentido, este trabalho apresenta e discute alguns dos principais solos encontrados nos ambientes de canga do QF, enfatizando seus atributos morfológicos químicos, físicos e mineralógicos, e buscando subsidiar o conhecimento das relações ecológicas nos Campos Rupestres de canga.

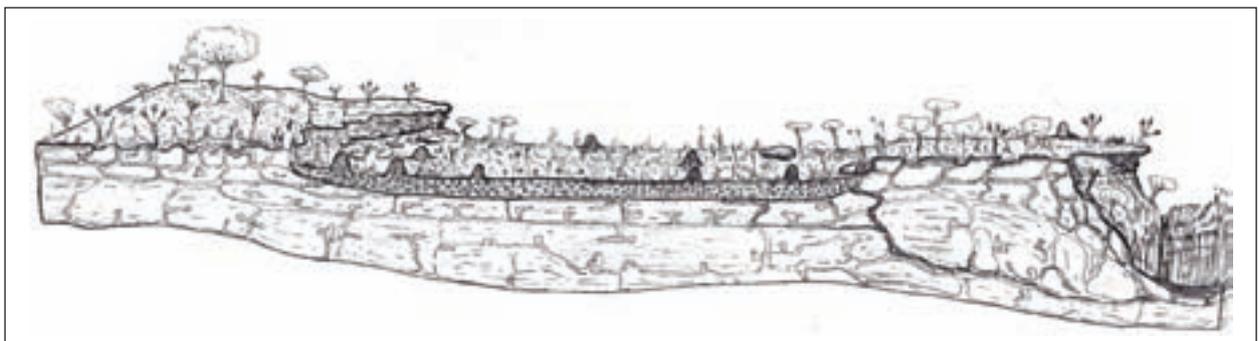


Figura 3 - Bloco diagrama típico dos Campos Rupestres sobre formação ferrífera com área hidromórfica associada com canga nodular e desenvolvimento de galerias de drenagem subterrânea, indicando rebaixamento de drenagem. Figura retirada de Schaefer *et al.*, (2008).



Figura 4 - Escarpa da Serra do Gandarela e cabeceira de drenagem florestada, em amplos anfiteatros côncavos com latossolos e plintossolos pétricos, paisagem típica do QF, em área itabirítica. O relevo regional é predominantemente estrutural. Foto: A. F. S. Pereira.



Figura 5 - Paisagem de campo rupestre de canga ferrífera, em primeiro plano; com domínio florestado no fundo, onde a crosta laterítica está profundamente degradada, com solos mais profundos e porosos. Foto: A. F. S. Pereira.

Canga: uma definição

Os dados a seguir foram compilados de trabalho de Schaefer *et al.*, (2008b).

As crostas de canga laterítica, ou couraças ferruginosas, compreendem as formações superficiais resultantes de processos ligados à evolução da paisagem e do relevo, ou seja, diretamente ligadas ao intemperismo e pedogênese policíclicos. As formações superficiais de canga, na maioria dos casos, podem ser classificadas como solos originados através de modificações subaéreas nas formações ferríferas, e que exercem controle na distribuição da cobertura vegetal.

Degradação da canga laterítica e formação de solos profundos sob canga

A dinâmica de formação da paisagem das cangas ou couraças ferruginosas é um processo contínuo e fortemente condicionado pelas variações climáticas quaternárias, como ilustrado num ciclo hipotético na Figura 6, iniciando com uma fase seca e culminando com uma fase úmida. Durante as fases úmidas, a canga degrada-se para produzir um Latossolo Concrecionário, com maior ou menor profundidade em função da pedobioturbação, promovida pela micro e meso-fauna do solo, especialmente cupins e formigas. O fenômeno promove a seleção de partículas mais finas (argilas e siltes), que se concentram na superfície pela triagem biológica (Schaefer, 2001). Nas transições climáticas úmido-secas e *vice-versa*, a sazonalidade se acentua e o fogo passa a governar a dinâmica da vegetação, suprimindo espécies pouco resistentes e selecionando aquelas tolerantes. A perda erosiva se acentua e o solo friável produzido na fase úmida se perde. Na fase de clima mais seco, há afloramento da canga cimentada (petroplintita) e solos muito rasos, com contato litoplântico (Figura 6). Tal ciclo pode ocorrer diversas vezes ao longo do tempo geológico, com duração variável de cada fase, sem alcançar um *steady-state* (equilíbrio).

A formação da canga revela-se por movimentos de distribuição de solutos e suspensões verticais, laterais e oblíquos, responsáveis pela formação dos horizontes do solo, e da relação entre eles no interior da paisagem lateríticas, segundo o modelo de Y. Tardy (Tardy & Nahon, 1985). De acordo com Schaefer *et al.*, (2008b):

O manto de alteração sobre rochas ferríferas no QF é constituído por um espesso pacote saprolítico, que constitui minério de interesse comercial. É composto de oxi-hidróxidos de ferro, caulinita, gibbsita e eventualmente quartzo, produtos de alteração de rochas itabiríticas. Na parte superior da couraça, a degradação da laterita é marcada pela presença de canga pisolítica, com cavidades decimétricas a centimétricas (Figuras 3 e 4), preenchidas por agregados de pequenos esferólitos (pisolitos) oxidicos-gibbsíticos, de revestimentos aluminosos e ferruginosos formando sistemas anastomosados e de fissuras ou túbulos com pequenos fragmentos e grãos de laterita cimentados por hematita (Schaefer *et al.*, 2004a).

Essas feições são formadas em condições variáveis ácidas e redutoras, provavelmente devido à acumulação da matéria orgânica em superfície, o que pode provocar a dissolução da caulinita, e alguma de gibbsita e goethita, com remobilização de Si, Fe e Al (Schaefer *et al.*, 2004a; 2008b). Enquanto a maior parte do Si é lixiviada para fora do perfil, Al e Fe redepõem na couraça, após a migração na forma de soluções coloidais, devido às mudanças nas condições físico-químicas em profundidade e/ou à degradação dos complexos orgânicos aluminosos e ferruginosos, bastante instáveis. Assim, há uma sucessão cíclica de formação e destruição da canga, com mínimo rebaixamento da paisagem (Schaefer *et al.*, 2008b).

Em subsuperfície, a degradação se dá com o rebaixamento progressivo do nível freático, causado pelo soerguimento regional posterior à formação da crosta laterítica, que intensifica a migração vertical e lateral de soluções aquosas, reativando o processo de alteração. Por sua insolubilidade, Al e Fe remobilizados na couraça e na interface crosta-saprolito se depositam sob a forma de gibbsita e oxi-hidróxido de ferro em fraturas e fissuras no topo essencialmente caulinitico do saprolito. Um sistema denso de pequenos veios de gibbsita ou goethita/hematita superimposto ao nível argiloso é, então, formado.

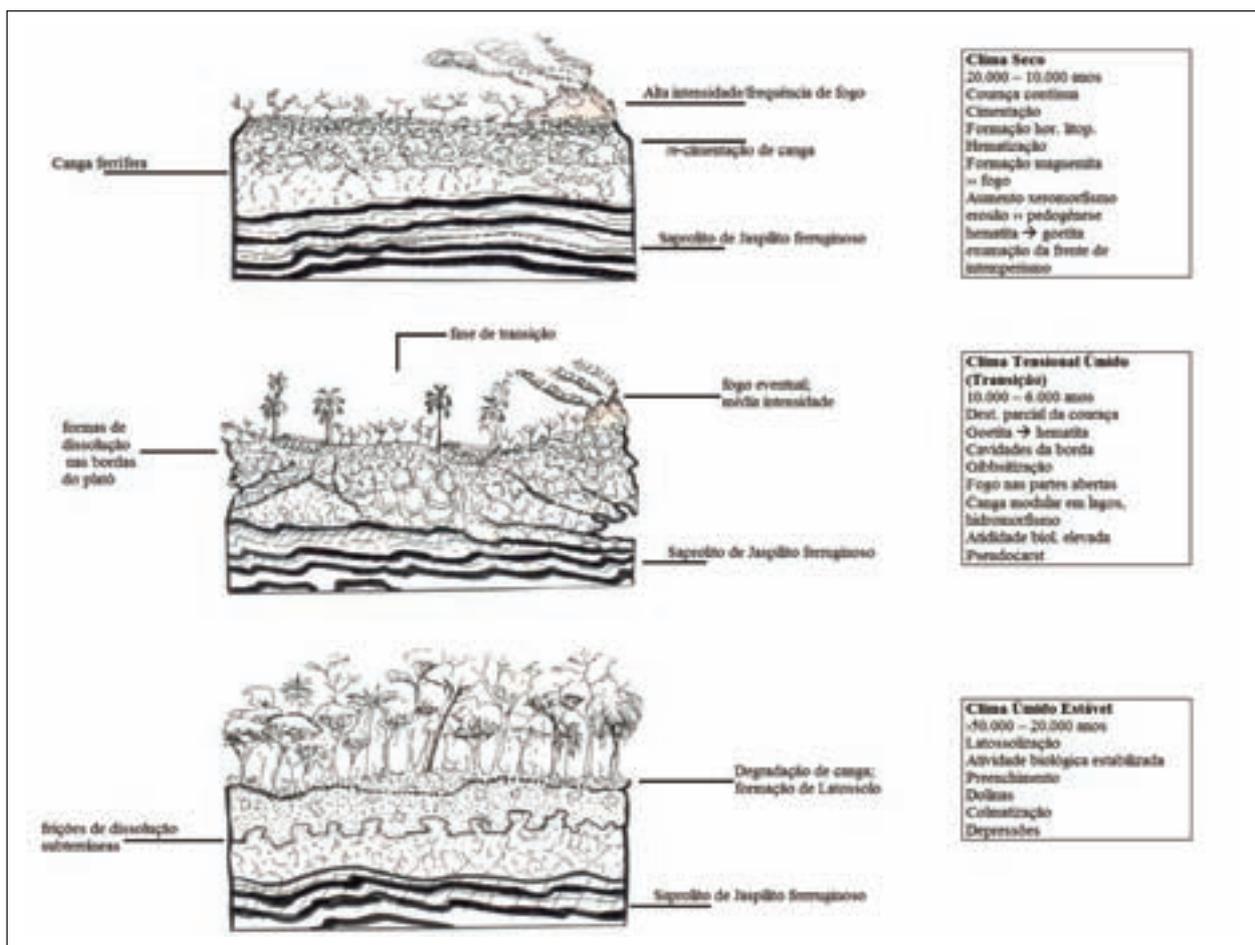


Figura 6 - Ciclo hipotético da dinâmica de formação da paisagem das cangas, condicionado pelas variações climáticas Quaternárias (Ilustração de Schaefer, 2015).

Solos de canga do Quadrilátero Ferrífero

Serra da Moeda

Os dados a seguir foram compilados de trabalho de Schaefer *et al.*, (2008b).

Os solos desenvolvidos sobre substratos ferríferos são Perféricos (>36% Fe₂O₃, pelo ataque sulfúrico, EMBRAPA 1997), e possuem texturas argilosas, porém são fortemente afetadas pela presença de nódulos e concreções pisolíticas, responsáveis por teores elevados de silte presentes (como microagregados de difícil dispersão) e areias (micronódulos hematíticos), além dos teores de cascalho, normalmente elevados (concreções, nódulos etc.). O teor de argila dispersa em água é baixo, especialmente nos horizontes Bw e Bi.

Os solos sobre canga do Quadrilátero (Tabela 1) mostram-se acentuadamente pedregosos, pobres em nutrientes trocáveis, com Capacidade de Troca extremamente baixa, como reflexo de sua natureza oxidica. Os valores de pH são ligeiramente ácidos, como consequência do grau de intemperismo avançado que praticamente deixou um solo exaurido de cargas elétricas, cuja CTC depende quase totalmente da matéria orgânica. Esta, por sua vez, é muito pobre e ácida, e na maior parte formada por *black-carbon*, ou carbono resultante de queima episódica dos ambientes rupestres (Benites *et al.*, 2005; 2007). O fogo parece ser um fato fundamental na gênese das paisagens de canga.

Os teores de Ca são extremamente baixos, e o mesmo ocorre com K e Mg. O Carbono Orgânico Total (COT) mostra valores pouco expressivos para os horizontes identificados como húmicos, pois neste caso o escurecimento é possível pelo revestimento de agregados e micronódulos em decorrência da reduzida matéria orgânica presente na superfície, apresentando comportamento semelhante à areia. Os teores de N totais são muito baixos e refletem a pobreza química geral dos solos. A maior parte do COT é residual de queima, formando uma fração húmica altamente resistente à degradação.

Apesar de possuir teores de Fe muito elevados (Tabela 3), os Latossolos Vermelho (LV) de canga são mais ácidos que os LV de basalto e possuem teores de P-total, TiO₂ e elementos-traços muito menores (Tabela 4), o que explica porque os LV de basalto são normalmente associados à vegetação mais fechada (Cerradão e Mata), enquanto os LV de itabirito mostram cerrados ralos e campos ferruginosos (Schaefer *et al.*, 2002; 2004b).

Tabela 1 - Características físicas dos solos sobre rochas ferríferas do Quadrilátero Ferrífero. Citado em Schaefer *et al.*, (2008b).

Hor.	Prof. (cm)	Cor Úmido	Cascalho	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	ADA	GF
P1 – Latossolo Vermelho Perférico típico (petroplíntico) húmico – Serra da Moeda – Campo Cerrado									
AP	0-12	5R 3/4; 5R 3/6	2	42	6	18	34	29	15
A1	12-35	7,5R 3/4	2	36	7	22	35	9	74
A2	35-55	10R 3/4	8	34	6	25	35	6	83
A3	55-80	10R 3/6	8	36	6	19	39	7	82
AB	80-115	10R 3/6	15	30	7	23	40	1	98
Bw1	115-150	10R 3/6	21	31	10	21	38	9	76
Bw2	150-190	10R 3/6	19	22	10	23	45	21	53
Bw3	190-205+	10R 2,5/6	9	20	8	17	55	13	76
P2 – Latossolo Vermelho Perférico típico – Serra da Moeda – Campo Rupestre									
A	0-50	1,5YR 2/3	4	25	5	18	52	10	81
Bw	85-115	1,5YR 3/4	17	27	4	13	56	0	100
P3 – Cambissolo Háptico Distrófico perférico – Serra da Moeda – Campo Rupestre									
A	0-40	5R3 /4	11	19	42	35	4	0	100
Bi	40-60	10R 3/6	21	26	30	30	14	13	7
P4 – Cambissolo Háptico Distrófico perférico – Serra de Ouro Preto, Mariana – Campo Rupestre									
AB	15-85	7,5YR 3/ 4	9	24	29	25	22	0	100
Bi2	100-160	10R 3/6-	24	18	28	26	28	11	61
P5 – Cambissolo Háptico Perférico – Capão Xavier – Floresta Altomontana									
A1	0-20	2,5 YR 4/3-	20	34	14	22	30	15	
A2	20-40	2,5 YR 4/6-	10	31	15	24	30	5	
Bi1	40-60	10R4/6	30	25	13	18	44	5	
Bi2	60-80	10R 4/6	5	23	14	21	42	14	
P6 – Cambissolo Háptico Perférico – Capão Xavier – Floresta Altomontana									
A1	0-20	2,5YR 4/4-	12	35	12	21	32	18	
A2	20-40	2,5 YR 4/6-	15	37	10	20	33	12	
Bi	40-60	10R 4/6-	10	26	9	23	42	6	

Tabela 2 – Características químicas dos solos sobre rochas ferríferas do Quadrilátero Ferrífero. Citado em Schaefer *et al.*, (2008b).

Hor.	Prof. (cm)	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB ¹	Al ³⁺	H ⁺	T ²	V ³	COT	N ⁴	m ⁵	Ataque Sulfúrico (%)			
															H ₂ O	KCl	SiO ₂	Al ₂ O ₃
P1 – Latossolo Vermelho Perférico típico (petrolínico) húmico – Serra da Moeda – Campo Cerrado																		
AP	0-12	5,4	4,6	0,5	0,08	0,02	0,6	0,2	7,0	6,1	7	2,25	0,19	25	0,9	13,1	65,5	2,10
A1	12-35	5,7	5,1	0,3	0,04	0,02	0,4	0	5,2	5,6	7	1,82	0,14	0	0,9	12,7	65,0	1,97
A2	35-55	5,9	5,5	0,1	0,01	0,01	0,1	0	3,9	4,0	3	1,4	0,11	0	0,9	13,4	67,7	2,01
A3	55-80	5,9	5,7	0,1	0,01	0,01	0,1	0	3,0	3,1	3	1,36	0,10	0	0,8	12,5	69,3	1,95
AB	80-115	6,1	6,2	0,1	0,01	0,01	0,1	0	2,1	2,2	5	0,93	0,09	0	0,9	13,0	69,2	1,97
Bwc1	115-150	6,2	6,4	0,1	0,01	0,01	0,1	0	1,1	1,2	8	0,55	0,06	0	0,9	15,4	67,5	1,77
Bwc2	150-190	6,3	6,5	0,1	0,01	0,03	0,1	0	0,6	0,7	14	0,32	0,04	0	0,7	20,3	61,5	2,04
Bwc3	190-205+	6,2	6,5	0,1	0,01	0,02	0,03	0,2	0	1,1	1,3	0,4	0,05	0	0,7	20,2	59,2	2,03
P2 – Latossolo Vermelho Perférico típico – Serra da Moeda – Campo Rupestre																		
A	0-50	5,5	5,1	0,8	0,8	0,05	0,02	0,9	0	5,0	15	2,19	-	0	1,1	13,8	64,6	1,89
Bwc	85-115	5,9	6,2	0,2	0,2	0,01	0,01	0,2	0	0,6	0,8	1,16	-	0	1,3	15,9	64,2	1,99
P3 – Cambissolo Háptico Distrófico perférico – Serra da Moeda – Campo Rupestre																		
A	0-40	5,8	5,2	0,8	0,8	0,03	0,02	0,9	0	1,4	2,3	-	0,62	0	0,8	0,6	66,4	0,18
Bic	40-60	6,1	6,7	0,6	0,4	0,01	0,02	1,0	0	0,2	1,2	-	0,18	0	1,3	2,4	63,9	0,20
P4 – Cambissolo Háptico Distrófico perférico – Serra de Ouro Preto, Mariana – Campo Rupestre																		
AB	15-85	5,4	5,7	0,4	0,4	0,01	0,02	0,4	0	1,8	2,2	-	0,51	0	1,5	9,2	23,5	0,65
Bic	100-160	5,5	6,6	0,2	0,2	0,02	0,04	0,3	0	0	0,3	-	0,09	0	1,2	9,4	38,5	0,69
P5 – Cambissolo Háptico Perférico – Capão Xavier – Floresta Altomontana																		
A1	0-20	4,57	-	0,21	0,09	0,13	0	0,43	2,60	24,4	24,83	1,7	4,70	-	85,8	-	-	-
A2	20-40	4,53	-	0,28	0,10	0,13	0	0,51	2,80	21,8	22,31	2,3	3,89	-	84,6	-	-	-
Bi	40-60	4,59	-	0,46	0,13	0,15	0	0,74	2,80	27,7	28,44	2,6	4,06	-	79,1	-	-	-
Bi	60-80	4,59	-	0,39	0,14	0,14	0	0,67	2,60	25,1	25,77	2,6	3,83	-	79,5	-	-	-
P6 – Cambissolo Háptico Perférico – Capão Xavier – Floresta Altomontana																		
A1	0-20	4,80	-	0,25	0,14	0,20	0	0,59	1,60	16,2	16,79	3,5	2,73	-	73,1	-	-	-
A2	20-40	4,82	-	0,22	0,12	0,16	0	0,50	1,40	14,9	15,40	3,2	2,44	-	73,7	-	-	-
Bi	40-60	4,84	-	0,19	0,11	0,16	0	0,46	1,20	14,9	14,36	3,0	2,32	-	72,3	-	-	-

¹ SB – Soma de Bases; ² Capacidade de Troca Catiônica (CTC); ³ Saturação por Bases; ⁴ Nitrogênio Total; ⁵ Saturação por Al

Tabela 3 - Conteúdo de gibbsita¹, óxidos de ferro (hematita² e goethita³) e caulinita⁴, pH e Ponto de Carga Zero (PCZ) em Latossolo Vermelho de itabirito comparado a Latossolo Vermelho de basalto. Dados baseados em análises químicas e termogravimétricas (DTA-TG). Citado em Schaefer *et al.*, (2008b).

Solo	Classe / Litologia	Gb ¹	Hm ²	Gt ³	Ct ⁴	pH		pH	PCZ	Fe _d	Soma Ox
		----- % -----				H ₂ O	KCl			----- % -----	----- % -----
RN1	Latossolo Vermelho / Itabirito	11,2	40,5	14,2	33,6	5,4	5,4	0,0	5,6	51,0	65,9
RN2	Latossolo Vermelho / Basalto	27,7	28,9	10,7	27,3	6,1	5,5	-0,6	5,0	29,0	67,3

Fe_d = Ferro extraído por Dithionito Citrato; Soma Ox = Hm + Gt + Gb.

Tabela 4 - Composição química de Latossolos Vermelhos desenvolvidos de Itabirito (canga) e Basalto (Triângulo Mineiro), obtidos do ataque sulfúrico da fração argila, valores Ki e Kr e Fe extraído por DCB⁴ e Oxalato de Amônio⁵. Dados obtidos de Rodrigues Netto (1996). Citado em Schaefer *et al.*, (2008b).

Solo	Classe / Litologia	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Soma de Ox ¹	Ki ²	Kr ³	Fe _d ⁴	Fe _o ⁵	Fe _d /Fe _o
		----- % -----										----- % -----		
RN1	Latossolo Vermelho / Itabirito	15,2	20,7	42,9	0,6	0,27	0,24	0,08	79,9	1,24	0,53	51,0	1,21	42
RN2	Latossolo Vermelho / Basalto	10,7	27,5	25,9	4,5	1,53	0,00	0,05	70,0	0,66	0,41	29,0	1,78	16

¹Soma Ox = Hm + Gt + Gb; ²Ki = (1,7 x SiO₂) / Al₂O₃; ³Kr = (1,7 x SiO₂) / (Al₂O₃ + (Fe₂O₃ x 0,6375))

Capão Xavier (solos sob mata)

Os Cambissolos P5 e P6 da área coluvial, situados em Mata Altomontana abaixo da Mina de Ferro Capão Xavier, mostram diferenças acentuadas em relação aos solos da Serra da Moeda, indicando mistura de material ferrífero com micáceo. A textura mostra-se mais argilosa que os Cambissolos sob Campo Rupestre, evidenciando maior degradação da canga sob floresta.

Ao contrário dos solos sob campo rupestre, os teores de Al trocável sob Mata são elevados, bem como os teores de Ca, K e Mg (CTC maior), e maiores teores de P disponível (P-Melich). Além disso, os teores de matéria orgânica sob mata são bem maiores que nos campos rupestres. Neste caso, a maior parte dos nutrientes se encontra associado à ciclagem, como consequência do estabelecimento de uma vegetação florestal. Estudos hidrológicos comparativos entre a vegetação de cerrado e a floresta no córrego da Mutuca (Schaefer *et al.* 2004a), próximo à Mina de Capão Xavier, indicaram que a umidade maior nos solos sob mata está restrita aos primeiros 100 cm, e que a recarga hídrica subterrânea ocorre de forma muito mais acentuada nos solos de vegetação mais aberta, pela menor evapotranspiração da vegetação aberta.

O sequestro de carbono em solos desenvolvidos sobre canga ferrífera parece muito influenciado pela vegetação, sendo bem maior sob mata, embora faltem estudos mais conclusivos.

Síntese dos solos ferríferos do Quadrilátero

Os dados a seguir foram compilados de trabalho de Schaefer *et al.*, (2008b).

Os solos derivados de itabirito do QF são predominantemente rasos, pedregosos e cascalhentos (Plintossolos Pétricos, Cambissolos, Neossolos Litólicos), e mesmo os Latossolos, mais profundos, mostram características petroplínticas, ou seja, a predominância de canga couraçada, em graus variáveis de degradação. A presença de muitas concreções e pisolitos, soltas ou cimentadas, influenciam na dinâmica hídrica e sequestro de carbono, já que os solos possuem fraca proteção e retenção física da matéria orgânica adicionada, quando muito cascalhentos. Os solos mais rasos tendem a ocorrer em bolsões, evidenciando *microhabitats* para fauna e flora, pouco estudados em trabalhos sistemáticos. As unidades de mapeamento são, em geral, **complexos de solos**, e não simples afloramentos de rocha, como em geral admitido.

A maior parte do carbono é recalcitrante, semicarbonizado e muito resistente à degradação microbiana. A matéria orgânica mostra valores bem maiores em solos florestais. Quase toda a CTC dos solos depende da ciclagem, o que torna estes solos dos mais pobres e dessaturados no ambiente altomontano.

Os solos desenvolvidos sobre as rochas ricas em ferro guardam muitas características herdadas do próprio substrato ferrífero, apresentando composição mineralógica, em sua maioria constituída de óxidos de Ferro, com pouca sílica e alguma alumina residuais, na forma de gibbsita. Embora sejam tão ricos em Ferro, os solos de canga mostram teores bem mais baixos de Si, P e micronutrientes, em comparação a solos ricos em Ferro desenvolvidos de basalto, por exemplo. Constituem, assim, um ambiente onde há um extremo oligotrofismo associado a extremos de variações hídricas e térmicas. O fósforo parece ser o elemento mais limitante, já que os teores são baixos e a adsorção de P é extremamente elevada nos solos oxidicos, perférricos.

A vegetação na região do Quadrilátero varia desde áreas campestres até florestais, as quais se mostram fortemente condicionadas pelas características pedológicas, mesmo em itabirito. Uma gama de solos “endêmicos” pode ser encontrada nessa região, indicando um quadro de grande diversidade paisagística e geoambiental das áreas com ocorrência de rochas ferríferas. Há uma grande carência de estudos de geodiversidade nas áreas de canga do Quadrilátero Ferrífero, que sirvam de subsídio ao manejo ambiental mais adequado às áreas de mineração.

Assim, recomenda-se: (1) estudos sistemáticos de geodiversidade em escala apropriada ao planejamento ambiental das áreas protegidas, que inclui unidades de conservação de proteção integral e de uso sustentável, e áreas adjacentes; e (2) avaliações da produtividade primária dos ecossistemas rupestres de canga e associados, e avaliação de sequestro de carbono nestes ambientes ferríferos altimontanos, que representam um importante reservatório de carbono nos solos tropicais, que não deve ser negligenciado na valoração ambiental.

O que nos parece mais urgente é realizar uma quantificação precisa de todas as tipologias de canga e suas fitofisionomias associadas, incluindo os campos rupestres e demais ecossistemas associados do QF (ferruginosos, quartzíticos, filitos etc.) que permitam um real dimensionamento do quadro ambiental atual e do impacto da mineração sobre cada tipologia, já que os estudos prévios não avançam num mapeamento adequado em escala e refinamento.

Os ecossistemas de canga e associados no QF podem ocorrer sobre uma gama de substratos variados, tais como: canga rica em ferro, canga de itabirito, canga de limonita, coberturas detritico-lateríticas, canga fraturada, corpos de minério hematítico, hematita compacta, itabiritos, itabiritos dolomíticos, rochas metaultrabásicas, filitos intercalados com itabiritos, laterita bauxítica e muitos outros. Assim, entendem-se como fundamentais os projetos de estudo desta geodiversidade, combinando estudos pedológicos e florísticos, para elucidar a real situação dos quase 53 mil ha de formações associadas do QF, que representam, na verdade, o grande espaço remanescente, conservado ou protegido, destes ecossistemas únicos, minerados desde os tempos coloniais.

Solos e vegetação sobre canga em Carajás, Sudeste do Pará, Amazônia

Esta revisão sobre os solos de Carajás foi baseada, em grande parte, em Schaefer *et al.*, (2012). A Amazônia é uma região dominada por terras baixas florestadas, que transiciona para biomas mais secos, tanto na direção do nordeste semiárido quanto do Planalto Central, este último dominado por cerrados. Tal quadro se assemelha ao QF, que também representa um ecótono de transição Floresta-Cerrado. De acordo com Schaefer *et al.* (2012):

O Sudeste Paraense representa uma vasta área de transição entre o bioma dos cerrados do Brasil Central, e o Bioma Amazônico, caracterizando uma grande região ecotonal. Na região da Serra dos Carajás - Pará, em meio à Floresta Tropical do sul da Amazônia, encontram-se diversos platôs de variadas dimensões, associados às formações de vegetação aberta sobre canga ferrífera. Do ponto de vista climático, a região está localizada na faixa conhecida como corredor seco da Amazônia Oriental, representando uma faixa climática transicional entre a Bacia Amazônica e o Planalto Brasileiro, e apresentando grande variedade de fácies locais de pequena expressão geográfica (Vanzolini & Brandão, 1986). Como zona de tensão ecológica em escala regional, o relevo e o conjunto de condições climáticas e geológicas característicos de Carajás tornaram possível a coexistência de paisagens diferentes, que incluem solos tropicais profundos cobertos por Florestas Ombrófilas, lado a lado com vegetações ora florestais, ora abertas, de caráter estacional, nas vertentes escarpadas e em alguns relevos mais altos, com coberturas pedológicas muito pouco desenvolvidas (Schaefer *et al.*, 2008a). A presença de vegetações abertas, savanizadas na Amazônia, no caso de Carajás, representam verdadeiras áreas abertas (clareiras) dominadas pela vegetação de canga (Secco & Mesquita, 1983), e são um ambiente de enclave dentro do domínio da floresta tropical. Ab'Saber (1986) considera tais enclaves como testemunhos de uma cobertura vegetal arcaica, que teria antecedido a recente expansão das coberturas florestais

amazônicas. Tal fenômeno teria ocorrido, significativamente, após a passagem do Pleistoceno para o Holoceno, em especial, quando do término da última glaciação, a partir de 10.000 anos atrás, em processo ainda hoje operante.

A Floresta Nacional de Carajás (FLONA) localiza-se na região sudeste do Estado do Pará e está inserida no clima tropical quente e úmido “Aw” classificação de Koppen, com duas estações bem marcadas: estação seca de maio a outubro. A precipitação aumenta com a altitude, áreas baixas que recebem uma média anual de 1500 mm e locais mais elevados recebem até 1900 mm.ano⁻¹ (IBAMA *et al.*, 2003). Temperaturas médias mensais variam entre 19 e 31 °C. As formações abertas sob a canga ferrífera são separadas em duas fitofisionomias que mais se destacam nos platôs, e se diferenciam em função basicamente de fatores edáficos. São os campos rupestres de *Vellozia*, mais abertos e baixos, e os Campos Rupestres Arbustivos. Destacam-se nestas formações a *Ipomoea cavalcantei* D. Austin, *Aspilia vanderbergiana* Santos, *Vermonia muricata* DC., *Begonia goiasensis* DC., *Begonia humilis* Ait., *Mimosa somnians* H.B.K. e a orquídea *Sobralia liliastrum* Lindl., entre outras.

Os Campos Rupestres Abertos com *Vellozia* correspondem sempre às áreas de Plintossolos Pétricos mais rasos de toda a Serra de Carajás, onde o solo friável raramente ultrapassa 10 cm de horizonte A, rico em matéria orgânica (Figura 7 – A e B, Tabela 5), na maioria dos casos em antigos termiteiros abandonados, formando microbolsões de solo orgânico que preenchem fraturas e depressões de dissolução na canga, onde se enraízam *Vellozia glochidea* Pohl. e tufos herbáceos de *Sobralia liliastrum* Lindl. (Orchidaceae), como espécies dominantes nessa formação. Nas vertentes mais declivosas e úmidas, mostram maior porte e revelam menor efeito de *deficit* hídrico severo a que estão submetidas. São áreas onde o fogo natural ou antrópico tem dificuldade de propagar-se pela existência de barreiras naturais de afloramentos de canga em lajedões.

Já os Campos Rupestres Arbustivos representam a principal fitofisionomia da Serra de Carajás e seu estrato arbustivo (até arbóreo baixo) mostra notável homogeneidade de composição florística, mas com variações importantes de abundância e dominância (Figura 7 – C). Em geral, os Plintossolos Pétricos, líticos ou concrecionários, de ocorrência geral neste ambiente, mostram-se mais profundos que os mesmos Plintossolos Pétricos encontrados no Campo Rupestre de *Vellozia* (Figura 7 – D, Tabela 5). Em alguns casos, forma-se um verdadeiro complexo de solos, com alternância de faixas ora mais rasas, ora mais profundas, indicando erosão atual ativa no Platô, com dificuldade de manter a delgada cobertura pedológica aí desenvolvida. A atividade de térmitas de solos mostra-se comparativamente semelhante aos Campos Rupestres de *Vellozia*, porém com alguns elementos arbóreos, principalmente sobre *Callistene minor* Mart. e algumas Myrtaceae de maior porte.

O padrão da fitofisionomia não guarda maiores semelhanças com Cerrado, antes se assemelhando a uma Caatinga Arbustiva Savanizada (Cerrado acaatingado) com forte escleromorfismo e xeromorfismo, e elevado grau de caducifolismo da vegetação. A presença marcante de Cactaceae, plantas praticamente ausentes nos Cerrados do Planalto Central, e o caducifolismo generalizado reforçam essa percepção. Assim, o

termo savana metalófito não parece apropriado para caracterizar tal conjunto de paisagens dos Platôs de Carajás. Além disso, o clímax local é a Floresta Aberta (sempre que a espessura do solo o permite). Feições transicionais (ecótonos) são sempre observadas.

Nestas fisionomias predominam as seguintes espécies arbustivas: *Bauhinia pulchella* Benth., *Byrsonima coriacea* (Sw.) DC., *Riencourtia glomerata* Cass., *Vernonia muricata* DC., *Erythroxylum nelson-rosae* Plowman., *Roupala montana* Aubl., *Ouratea castaneifolia* (DC) Engler., *Miconia albicans* (Sw.) Triana, *Norantea goyazensis* Cambess, *Centrosema carajasense* Cavalc., *Chamaescrista desvauxii* var. *mollessima* (Benth) H.S. Irwin & Barneby *Mimosa acustistipula* var. *ferrea* Barneby.

Florestas verdadeiras desenvolvem-se em certas zonas, especialmente onde houve o colapso subsuperficial do saprolito, sotoposto à canga ferrífera, formando áreas de acumulação colúviais, com solos com profundidade de horizonte Bw variando de 20 cm a 1 metro ou pouco mais. Ali, a retenção hídrica e de nutrientes é favorecida. Nessas condições, desenvolvem-se verdadeiras matas altas, bem estruturadas e ricas em espécies. Entre as emergentes, destacam-se espécies como *Ficus enormis* (Mart. ex Miq.) Mart., Lauraceae (*Nectandra* sp.), Euphorbiaceae (*Mabea* sp.), *Piptadenia suaveolens* Miq. (Timborana.), *Pouteria ramiflora* (Mart.) Radlk. (Guajará-mole) e *Vochysia* sp. (Quaruba). No dossel, ocorrem muitas Melastomataceae (*Miconia* sp.) e Myrtaceae (*Myrcia* sp.), além de *Caryocar villosum* (Aubl.) Pers. (Piquiá), *Endopleura uchi* (Huber) Cuatrec. (Uchi), *Ocotea caudata* (Nees) Mez. (Louro-Preto), *Parkia multijuga* Benth. (Jueirana), *Stryphnodendron polystachyum* (Miq) Kleinh. (Ingá), *Erismia uncinatum* Warnm. (Quaruba-branca), *Protium tenuifolium* var. *herbertii* Cuatrec. (Breu-preto.), *Tetragastris paraensis* Cuatrec (Breu-jacaré), *Onychopetalum amazonicum* R.E.Fr (Envira-vermelha), *Dipterix odorata* (Aubl.) Willd (Cumaru), *Virola michelii* Heckel (Veruba-preta). O sub-bosque possui a dominância de *Astrocaryum gynacanthum* Mart. (mumbaca), *Cordia nodosa* Lam., *Xylopia polyantha* R.E.Fr. Os Capões Florestais podem ocorrer em situações diversas, como nas bordas mais escarpadas e sombreadas dos inúmeros lagos de topo; em pequenas depressões circulares ou “ameboides” dentro do Platô, associados ou não a cavernas de dissolução; ao longo de grotas e cânions, tanto no centro quanto nas bordas dos Platôs (Figura 7 – E, F e G respectivamente). Foram descritos por Schaefer *et al.* (2012) Plintossolos Pétricos concrecionários latossólicos, Latossolos e Cambissolos, todos ricos em concreções lateríticas e dominados por estrutura microgranular muito pequena (Tabela 5). São solos onde se observa intensa atividade de térmitas construtoras de montículos de terra vermelha, que contrastam muito com os termiteiros negros dos campos rupestres adjacentes.

Nas áreas de fácies transicionais entre a fitofisionomia de Campo Rupestre Arbustivo e os Capões Altos, formam-se uma vegetação de porte mais baixo caracterizadas por Capões Florestais Baixos (Figura 7 – H), formando faixas de dimensões variadas, ou bolsões isolados, onde os solos provenientes da degradação da canga não ultrapassam 30 cm de profundidade, sendo frequente o contato lítico, observado na maioria dos perfis estudados.

Estas áreas representam o estágio inicial de acumulação de material edafizado (pedogenizado) que já é capaz de suportar um *escrube* desenvolvido, de caráter mais aberto e estacional que os Capões Altos, com os quais frequentemente se associam, em padrões de sucessão. Os solos são mais rasos que nos Capões Altos, mas predominam Plintossolos Pétricos concrecionários mais rasos (câmbicos) ou líticos, sendo a disponibilidade hídrica menor que nos Capões Altos (Figura 7 – I e J). A espessura média comum no ambiente é de cerca de 25 cm de horizonte A + B. Constituem padrões de ambiente ecotonal entre os solos mais profundos de Campo Rupestre e as áreas florestadas de borda ou capões isolados no interior do platô (Tabela 5).

Do ponto de vista florístico, não diferem muito do padrão descrito para as matas altas, mas há uma dominância maior de Myrtaceae, Melastomataceae, Euphorbiaceae e leguminosas, além da presença das duas espécies arbóreas dominantes nos campos rupestres, como *Callisthene minor* Mart. e *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* Barneby. Além disso, a espécie *Norantea goyasensis* Cambess é observada com o padrão epífita habitual, apoiado sobre as árvores de médio porte. As observações, assim, comprovam o caráter ecotonal dessas formações mais abertas e baixas de capões.

Nas bordas dos Platôs a estrutura e fisionomia da vegetação são comparáveis às dos Capões Altos do interior do Platô, mas encontram-se em conexão com as Matas do Entorno, com as quais se interpenetram, coalescendo. A Figura 8, a seguir, representa um corte esquemático da paisagem interna da Serra Sul de Carajás, ilustrando as formações de cavernas e solos associados; os Latossolos Concrecionários sob capões mostram valores de fósforo e CTC bem mais elevados, pela ciclagem de nutrientes, abundância de termiteiros e pela proximidade da caverna, onde ocorre deposição de Guano. Assim, evidencia-se um conjunto de *feedbacks* favorável à vegetação de porte arbóreo, elevada, quando a disponibilidade hídrica e nutricional é satisfeita.

Do ponto de vista conservacionista, há ocorrência de importantes espécies em Carajás, *Ipomoea carajasensis* D. Austine *Erythroxylum nelson-rosae* Plowman, ambas na lista de espécies ameaçadas de extinção da flora brasileira (FUNDAÇÃO BIODIVERSITAS, 2008) e inseridas na categoria “em perigo”. Além dessas, é importante destacar as espécies endêmicas: *Ipomoea carajasensis* D. Austine *Ipomoea marabaensis* D. Austin. & Secco, *Mimosa skinneri* Benth. var. *carajarum* e *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* Barneby, as duas últimas correspondem à variedades endêmicas da Serra de Carajás. Em síntese, as fisionomias encontradas se associam a diferentes solos no gradiente, e possuem diferenças florísticas e estruturais marcantes encontradas entre elas. O fator básico parece ser a profundidade efetiva, mas há outras características químicas relevantes (Tabela 5). Por sua distribuição restrita, os Complexos Rupestres ferruginosos são ecossistemas singulares, com presença de espécies ameaçadas de extinções ou endêmicas, ocorrendo sobre jazidas de minério de ferro economicamente importantes.



Figura 7 – Plintossolo Pétrico coletado na Serra Sul de Carajás (A), associado aos ambientes de Campos Rupestres com Vellozia (B). Vista geral do Campo Rupestre Arbustivo no Platô da Serra Sul de Carajás (C), com Plintossolos Pétricos pouco mais profundos que os encontrados nos Campos de Vellozia (D). Ocorrência de Capões Florestais na Serra de Carajás: (E) nas bordas mais escarpadas e sombreadas dos inúmeros lagos de topo das serras; (F) em pequenas depressões circulares ou “ameboides” dentro do Platô, associados ou não a cavernas de dissolução; (G) ao longo de ravinas e cânions, tanto no centro quanto nas bordas dos Platôs. Os Capões Altos (F) apresentam solos são mais profundos (I) comparados aos solos (J) encontrados nos Capões Baixos (H). Figura adaptada de Schaefer *et al.*, (2012).

Tabela 5 - Média (\pm s.d.) de variáveis pedológicas para o solo superficial (0-10 cm) por tipo de vegetação na Serra Sul, Serra dos Carajás, Pará, Brasil. H + Al = Acidez Potencial; BS = Soma de Bases; V = Saturação de Bases; t = Capacidade de Troca catiônica efetiva; T = Capacidade de Troca catiônica a pH 7.0; m = Índice de saturação de Alumínio; ISNa = Índice de saturação de sódio; OM = Matéria Orgânica; Res-P = Fósforo Remanescente. As letras a, b, c, d indicam diferenças significativas entre variáveis de solos dentro dos grupos de vegetação (ANOVA com teste Tukey; $p < 0.05$).

Variáveis de solos	Campo Rupestre Aberto com <i>Vellozia</i>	Campo Rupestre Arbustivo	Capão Florestal Topo	Mata de Encosta
pH (H ₂ O)	4,4 \pm 0,3 ^a	4,3 \pm 0,2 ^b	3,8 \pm 0,2 ^a	4,4 \pm 0,1 ^{ab}
pH (KCl)	3,1 \pm 0,3 ^a	3,2 \pm 0,2 ^a	3,3 \pm 0,2 ^a	3,8 \pm 0,1 ^a
P (mg/dm ³)	2,3 \pm 0,6 ^a	1,6 \pm 0,6 ^a	9,1 \pm 7,2 ^b	3,8 \pm 0,5 ^a
K (mg/dm ³)	68,5 \pm 15,7 ^a	88,4 \pm 26,8 ^b	27,3 \pm 7,1 ^b	57,6 \pm 10,9 ^b
Ca (cmolc/dm ³)	1,4 \pm 1,1 ^a	0,7 \pm 0,6 ^a	0,0 \pm 0,0 ^b	0,1 \pm 0,1 ^c
Mg (cmolc/dm ³)	0,4 \pm 0,3 ^a	0,5 \pm 0,2 ^a	0,1 \pm 0,0 ^b	0,3 \pm 0,3 ^c
Zn (mg/dm ³)	2,0 \pm 1,1 ^a	1,4 \pm 0,3 ^a	2,1 \pm 6,6 ^b	0,9 \pm 0,2 ^d
Fe (mg/dm ³)	867 \pm 187 ^a	980 \pm 153 ^a	428 \pm 250 ^a	154 \pm 38 ^a
Mn (mg/dm ³)	11,9 \pm 8,3 ^a	6,3 \pm 2,9 ^a	1,3 \pm 0,3 ^b	7,6 \pm 2,5 ^a
Cu (mg/dm ³)	0,5 \pm 0,1 ^a	0,6 \pm 0,3 ^a	0,4 \pm 0,2 ^a	0,6 \pm 0,2 ^b
Al ³⁺ (cmolc/dm ³)	1,0 \pm 0,4 ^a	1,6 \pm 0,3 ^a	2,2 \pm 0,4 ^b	1,9 \pm 0,4 ^c
H+Al (cmolc/dm ³)	22,4 \pm 7,5 ^a	20,5 \pm 2,9 ^a	19,7 \pm 2,7 ^a	21,3 \pm 2,7 ^a
BS (cmolc/dm ³)	2,1 \pm 1,3 ^b	1,4 \pm 0,7 ^a	0,2 \pm 0,1 ^b	0,6 \pm 0,4 ^c
t (cmolc/dm ³)	3,1 \pm 1,1 ^b	3,3 \pm 0,6 ^{ab}	2,4 \pm 0,4 ^a	2,6 \pm 0,6 ^a
T (cmolc/dm ³)	24,5 \pm 8,0 ^a	21,9 \pm 3,1 ^a	19,8 \pm 2,6 ^b	21,9 \pm 2,9 ^a
V %	8,7 \pm 4,4 ^a	6,5 \pm 2,8 ^{ad}	0,7 \pm 0,4 ^{ac}	2,7 \pm 1,8 ^b
m %	37,4 \pm 18,6 ^a	54,2 \pm 14,7 ^a	93,0 \pm 2,1 ^{ac}	77,3 \pm 12,3 ^b
ISNa %	2,2 \pm 1,3 ^a	2,1 \pm 1,1 ^{ac}	1,5 \pm 1,0 ^a	0,9 \pm 0,3 ^b
OM (dag/Kg-1)	40,2 \pm 12,8 ^a	28,9 \pm 12,3 ^b	6,9 \pm 1,6 ^a	8,1 \pm 2,6 ^a
Res-P (mg/L)	28,5 \pm 3,9 ^b	20,6 \pm 9,4 ^a	11,8 \pm 2,0 ^{ab}	11,9 \pm 2,2 ^a
Na (mg/dm ³)	14,3 \pm 7,0 ^a	14,4 \pm 7,4 ^a	7,6 \pm 4,8 ^b	5,3 \pm 2,0 ^b
profundidade (cm)	9 \pm 1 ^a	38 \pm 3 ^a	93 \pm 5 ^a	114 \pm 7 ^b

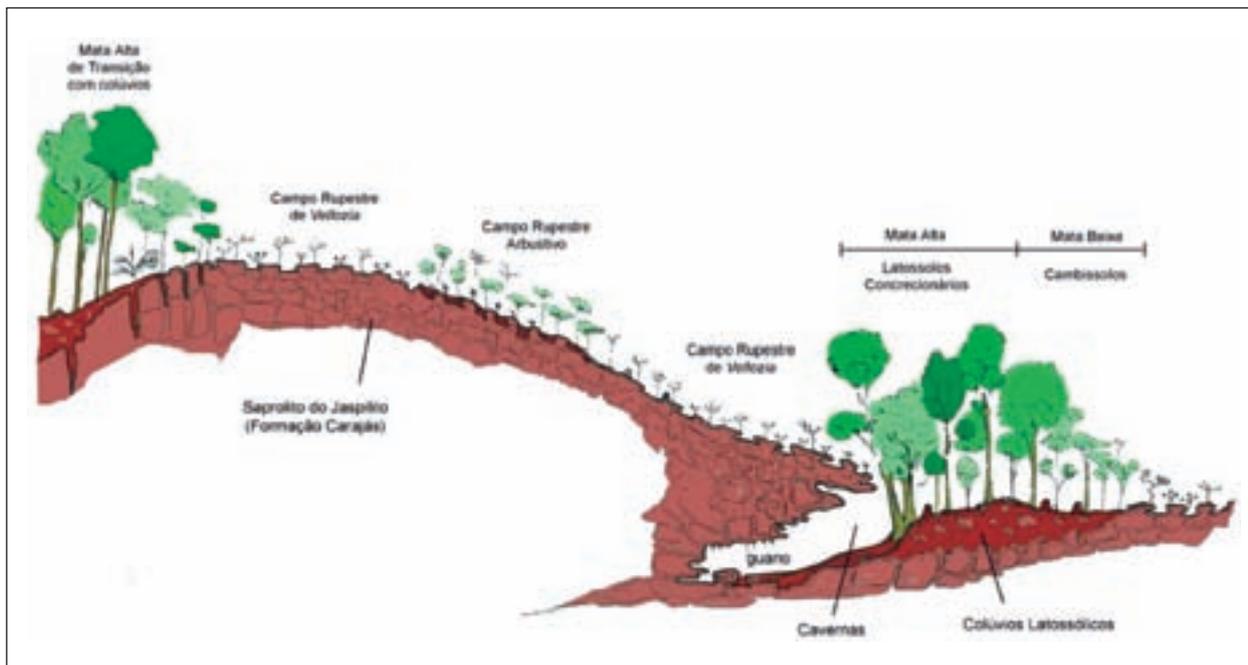


Figura 8 – Corte esquemático da Serra Sul de Carajás, ilustrando as diferentes formas de vegetação associadas às características pedológicas. Figura retirada de Schaefer *et al.*, (2012).

Papel ecológico de termiteiros de montículos na paisagem de canga em Carajás

As térmitas, consideradas engenheiros de ecossistemas, possuem um papel crucial na ciclagem de nutrientes em solos muito pobres, ácidos, dos trópicos (Sarcinelli *et al.*, 2009). Em Carajás, foi realizado um estudo de similaridade entre os solos de termiteiros e o solo adjacente, com média de amostras (3 repetições) utilizadas na caracterização completa dos solos nos dois casos. As análises totalizaram 135 amostras de solos, ou 45 áreas amostrais. Os termiteiros foram coletados em todas as fitofisionomias (Campo Graminoso, Campo Rupestre Arbustivo, Campo Rupestre de *Vellozia*, Capão baixo, Campo Rupestre Queimado, Campo Brejoso) em todas as áreas de Canga em Carajás. No estudo de ciclagem de nutrientes entre solos e termiteiros, foram considerados apenas os dados para a Serra Sul, para facilitar a discussão dos dados.

Termiteiros e solos adjacentes

Análises químicas sistemáticas efetuadas nos termiteiros revelaram diversos aspectos ecológicos de grande importância aos estudos de similaridade. Dentre esses, destacam-se as comparações efetuadas entre os termiteiros e os solos adjacentes, e na análise estatística e de agrupamento de todas as amostras, de todos os Platôs. Na comparação entre os solos de termiteiros

e os perfis de solos adjacentes, os campos rupestres de *Vellozia*, ou Arbustivos, possuem termiteiros que concentram teores médios de P cerca de 2 a 8 vezes superiores aos que os teores de P nos horizontes A dos solos adjacentes. Os teores de Ca são sempre muito mais altos que os valores de Ca trocáveis nos mesmos solos, indicando um papel destacado dos termiteiros na ciclagem de nutrientes neste geoambiente. As concentrações de K, Mg e Na são também superiores em todos os termiteiros.

Nos campos gramíneos, as concentrações de P são da ordem de 7-10 vezes maiores que as concentrações dos solos adjacentes, revelando uma importância ainda mais destacada nos geoambientes mais abertos e herbáceos. Em termos comparativos, os teores de Ca são ainda mais relevantes, tendo em vista que os solos possuem teores nulos de Ca (negligíveis).

Por outro lado, nos Capões, os teores de P nos termiteiros pouco diferem dos solos adjacentes, que possuem teores de P mais elevados entre os geoambientes. Os teores de K e Mg são, contudo, maiores nos termiteiros. Os teores de Al trocável são mais expressivos nos termiteiros, onde os pHs são mais ácidos. Os teores de argila são semelhantes, variando na faixa de 17-34% de argila, com predomínio de areia grossa em todos os termiteiros. Os teores de matéria orgânica dos termiteiros são muito mais elevados que nos solos adjacentes, indicando que o hábito detritívoro das térmitas é capaz de criar materiais humificados de CTC bem mais elevados que os solos.

Em síntese, a comparação entre os solos de termiteiros e os solos adjacentes revela o destacado papel ecológico dos termiteiros de solo na Serra Sul, com gradiente de concentração de P, que aumenta no sentido da Mata – Campo Rupestre Arbustivo – Campo Rupestre de *Vellozia* – Campo Gramíneo; ou seja, o papel das térmitas de montículos parece mais concentrador onde a vegetação é mais aberta e herbácea, com solos mais rasos, e onde não ocorre abundância de minerais de argila.

Análise da similaridade e análises estatísticas dos cupinzeiros

Na segunda parte do estudo, foi efetuada uma análise de similaridade entre os materiais de termiteiros em todos os platôs, englobando os seis geoambientes fundamentais na comparação: Capão Alto, Capão Baixo, Campo Rupestre Arbustivo, Campo Rupestre aberto ou de *Vellozia*, Campo Gramíneo e Campo Brejoso (Brejo).

Similaridade entre termiteiros: análises dos solos

Com base na similaridade entre as variáveis, observou-se o agrupamento entre a CTC total do termiteiros com Al trocável e $H^+ Al$, indicando a predominância de acidez trocável nos solos de termiteiros, que são muito ácidos. Os teores de P agruparam bem com os teores de Cu disponível, o que pode indicar uma relação com ciclagem de P orgânico, já que o Cu é comumente associado com a ciclagem orgânica nos solos. A soma de bases e a saturação de bases agruparam-

se com valores de Ca e Mg, com menor participação de K e Na, como normalmente esperado. Já o pH agrupou-se com os valores de K e Na, indicando que variações de teores de cátions monovalentes nos solos de termiteiros possuem capacidade de elevar o pH, já que a CTC é muito baixa. A matéria orgânica agrupou-se com P remanescente, indicando forte efeito dos teores de MO na redução da adsorção de P, já que os solos são extremamente oxídicos. Estes resultados são compatíveis com os resultados obtidos para os solos.

Análises dos ambientes

No dendrograma de similaridade (Figura 9), observaram-se resultados de extrema importância ecológica. A amostra 13, proveniente de cinzas de cupinzeiros queimados, destacou-se das demais, como era de esperar, pela grande riqueza química, notadamente em fósforo e cálcio. Num segundo grupo (azul), apareceram as amostras 9, 19, 24, 38, todas de Campo Rupestre aberto ou de *Vellozia*, indicando que este ambiente se destaca dos demais e possui forte similaridade entre os Platôs estudados, inclusive o Platô N1, onde não há ocorrência de *Vellozia* na formação de Campo Rupestre. O grupo verde agrupou bem as amostras de Capão Alto (7, 12, 14, 20, 25, 31, 34, 35, 39) e, ainda, duas amostras de Capão Baixo e Campo Arbustivo (6,18). No grupo vermelho, foram agrupados os demais, sem individualizar os demais geoambientes (Brejos, Campos Graminosos e Campos Arbustivos) de forma eficiente.

Desta forma, os dois extremos fitofisionômicos foram adequadamente classificados e separados com base nas análises de termiteiros, e observou-se forte similaridade *inter* platôs, corroborando fortemente os dados de solos (Figura 10), e indicando que os geoambientes de Capão Alto e Campo Rupestre são os que mais bem caracterizam as diferenças dentro dos Platôs de Carajás.

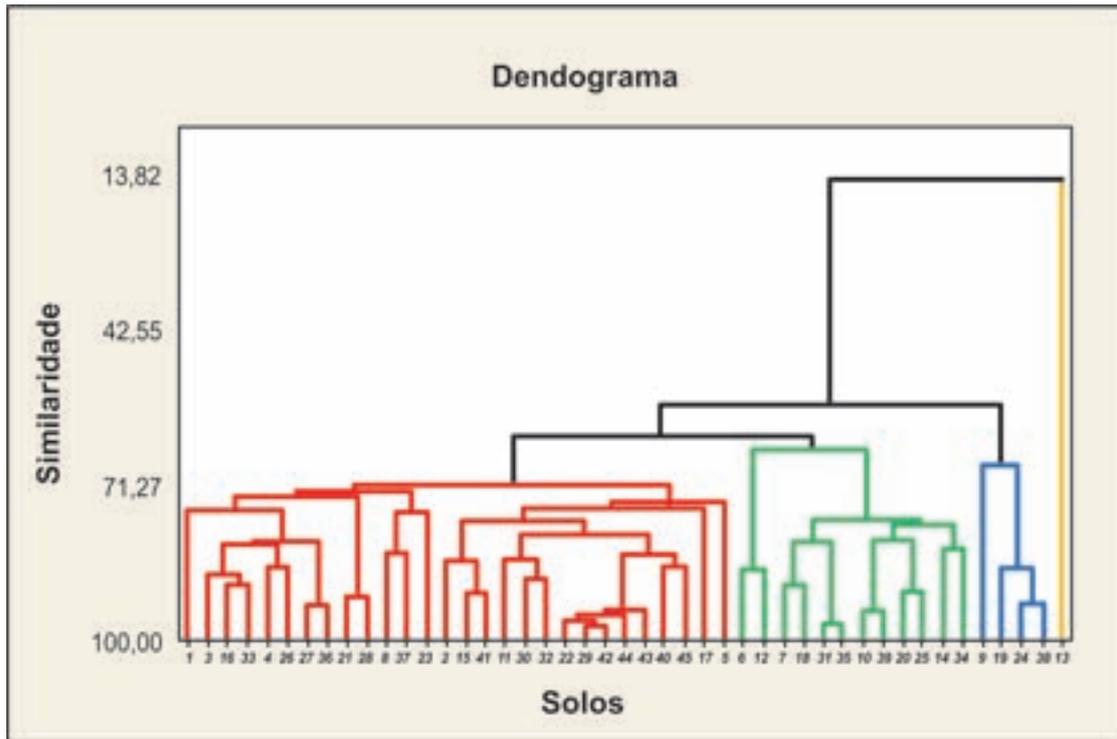


Figura 9 - Dendrograma de similaridade entre os solos de termiteiros. Índice de agrupamento: distância de Person; método: média aritmética não ponderada (UPGMA). As cores destacam os grupos separados pela análise com 60% de similaridade. Em amarelo - cinzas de cupins queimados; em azul – campos rupestres abertos ou de Vellozias; grupo verde – Capão Alto (amostras 7, 12, 14, 20, 25, 31, 34, 35, 39) e Capão Baixo e Campo Arbustivo (6,18), e em vermelho, demais grupos - Brejos, Campos Graminosos e Campos Arbustivos.

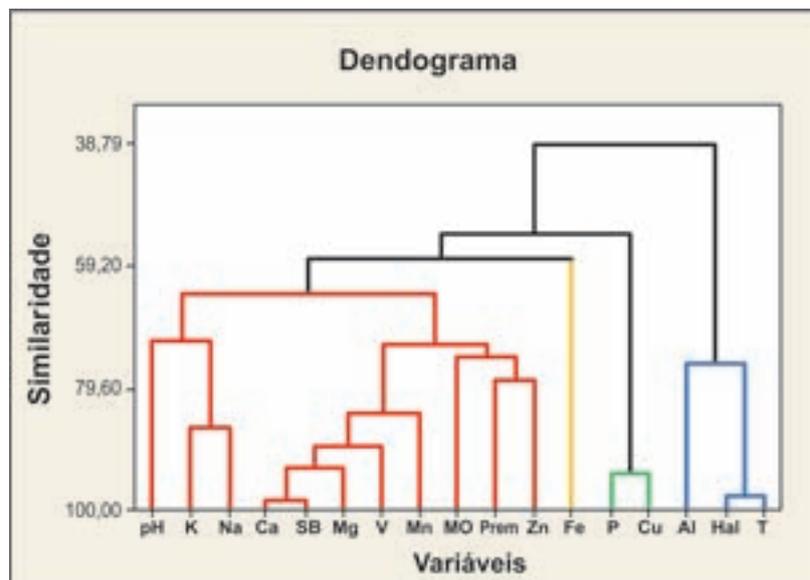


Figura 10 - Dendrograma de similaridade entre as variáveis dos solos. Índice de agrupamento: coeficiente de correlação de distância; método: média aritmética não ponderada (UPGMA). As cores destacam os grupos separados pela análise com 60% de similaridade. Em amarelo - cinzas de cupins queimados; em azul – campos rupestres abertos ou de Vellozias; grupo verde – Capão Alto (amostras 7, 12, 14, 20, 25, 31, 34, 35, 39) e Capão Baixo e Campo Arbustivo (6,18), e em vermelho, demais grupos - Brejos, Campos Graminosos e Campos Arbustivos.

ANEXO

Alguns conceitos pedológicos acerca da Canga

PLINTITA

É uma formação constituída da mistura de material de argila, pobre em carbono orgânico e rica em ferro, ou ferro e alumínio, com grãos de quartzo e outros minerais. Ocorre comumente sob a forma de mosqueados vermelhos, vermelho-amarelados e vermelho-escuros, com padrões usualmente laminares, poligonais ou reticulados. Quanto à gênese, a plintita se forma em ambiente úmido, pela segregação de ferro, importando em mobilização, transporte e concentração final dos compostos de ferro, que pode se processar em qualquer solo onde o teor de ferro for suficiente para permitir a segregação do mesmo, sob a forma de manchas vermelhas brandas. A plintita não endurece irreversivelmente como resultado de um único ciclo de umedecimento e secagem. No solo úmido, a plintita é suficientemente macia, podendo ser cortada com a pá. A plintita é um corpo distinto de material rico em óxido de ferro, e pode ser separada dos nódulos ou concreções ferruginosas consolidadas (petroplintita) que são extremamente firmes ou extremamente duras, sendo que a plintita é firme quando úmida, e dura, ou muito dura, quando seca, tendo diâmetro > 2mm e podendo ser separada da matriz do solo, isto é, do material envolvente. Ela suporta amassamento e rolamento moderado entre o polegar e o indicador, podendo ser quebrada com a mão. Quando submersa em água, por período de duas horas, a plintita não esboroa, mesmo submetida a suaves agitações periódicas, mas pode ser quebrada ou amassada após ter sido submersa em água por mais de duas horas. As cores da plintita variam nos matizes 10R a 7,5YR, com cromas altos, e está comumente associada a mosqueados que não são considerados como plintita, de cores bruno-amareladas, vermelho-amareladas ou corpos que são quebradiços ou friáveis ou firmes, mas desintegram-se quando pressionados pelo polegar e o indicador, e esboroam na água. A plintita pode ocorrer em forma laminar, nodular, esferoidal ou irregular.

PETROPLINTITA

Material normalmente proveniente da plintita, que, sob efeito de ciclos repetitivos de umedecimento, seguidos de ressecamento acentuado, sofre consolidação vigorosa, dando lugar à formação de nódulos ou de concreções ferruginosas (*“ironstone”*, concreções lateríticas, canga, tapanhoacanga) de dimensões e formas variadas (laminar, nodular, esferoidal ou em forma alongada arranjada na vertical ou irregular) individualizadas ou aglomeradas.

CARÁTER PLÍNTICO

Usado para distinguir solos que apresentam plintita em quantidade ou espessura insuficientes para caracterizar horizonte plíntico em um ou mais horizontes, em algum ponto da seção de controle que defina a classe. É requerida plintita em quantidade mínima de 5 % por volume.

CARÁTER CONCRECIONÁRIO

Termo usado para definir solos que apresentam petroplintita na forma de nódulos ou concreções em um ou mais horizontes dentro da seção de controle que defina a classe em quantidade e/ou espessura insuficientes para caracterizar horizonte concrecionário. É requerida petroplintita em quantidade mínima de 5% por volume.

CARÁTER LITOPLÍNTICO

Usado para definir solos que apresentam petroplintita na forma contínua e consolidada em um ou mais horizontes em alguma parte da seção de controle que defina a classe, cuja espessura do material ferruginoso é insuficiente para caracterizar horizonte litoplíntico.

CONTATO LÍTICO

Refere-se à presença de material extremamente resistente subjacente ao solo (exclusive horizontes petrocálcico, litoplíntico, concrecionário, duripã e fragipã), cuja consistência é de tal ordem que, mesmo quando molhado, torna a escavação com a pá reta impraticável ou muito difícil e impede o livre crescimento do sistema radicular e circulação da água, que é limitado às fraturas e diaclases que porventura ocorram. Tais materiais são representados pela rocha sã e por rochas muito fracamente alteradas (R), de qualquer natureza (ígneas, metamórficas ou sedimentares), ou por rochas fraca ou moderadamente alteradas (RCr, CrR). Este conceito ainda carece de detalhamento para melhor definição, quando aplicado a material de rocha fracamente alterado, rochas sedimentares e algumas metamórficas, que apresentem forte fissilidade em função de planos de acamamento, diaclasamento ou xistosidade.

CONTATO LÍTICO FRAGMENTÁRIO

Refere-se a um tipo de contato lítico em que o material endurecido subjacente ao solo encontra-se fragmentado, usualmente, em função de fraturas naturais, possibilitando a penetração de raízes e a livre circulação da água.

CARÁTER ÁCRICO

Refere-se à soma de bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) mais alumínio extraível por KCl 1mol L^{-1} (Al^{3+}) em quantidade igual ou inferior a 1,5 cmolc/kg de argila e que preencha pelo menos uma das seguintes condições:

-
pH KCl 1mol L^{-1} igual ou superior a 5,0; ou $-\Delta\text{pH}$ positivo ou nulo.

$-\Delta\text{pH} = (\text{pH em KCl} - \text{pH em água})$

Referências Bibliográficas

- Ab'saber, A.N. 1986. Geomorfologia da região. In: Almeida Jr. *Carajás: desafio político, ecologia e desenvolvimento*. São Paulo: Brasiliense; Brasília: CNPq. p. 88-124.
- Benites, V.M.; Mendonça, E.S.; Schaefer, C.E.G.R.; Novotny, E.H.; Reis, E. L. & Ker, J.C. 2005. Properties of black humid acids from high altitude rocky complexes in Brazil. *Geoderma*, 12: 104-113.
- Benites, V.M.; Schaefer, C.E.G.R. & Simas, F.N.B. 2007. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. *Revista Brasileira de Botânica*, 30: 569-577.
- Carmo, F.F.; Campos, I.C. & Jacobi, C.M. 2012. Cangas: ilhas de ferro estratégicas para a conservação. *Ciência Hoje*, 295: 48-53.
- EMBRAPA, 1997. *Manual de Métodos de Análise de Solos*, 2ª edição. Rio de Janeiro: CNPS. 212 p.
- Ferreira, J.; Aragão, L.E.O.C.; Barlow, J.; Barreto, P.; Berenger, E.; Bustamante, M.; Gardner, T.A.; Lees, A.C.; Lima, A.; Louzada, J.; Pardini, B.; Parry, L.; Peres, C.A.; Pompeu, P.S.; Tabarelli, M. & Zuanon, J. 2014. Brazil's environmental leadership at risk. *Science*, 346: 706-707.
- Fundação Biodiversitas. 2008. *Lista vermelha da flora ameaçada de extinção*. Disponível em: http://www.biodiversitas.org.br/florabr/lista_florabr.pdf.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, 2003. CVRD – Companhia Vale do Rio Doce & STCP - STCP Engenharia de Projetos LTDA. *Plano de manejo para uso múltiplo da Floresta Nacional de Carajás*.
- Jacobi, C.M & Carmo, F.F. 2011. Life-forms, pollination and seed dispersal syndromes in plant communities on ironstone outcrops, SE, Brazil. *Acta Botanica Brasílica*, 25: 395-412.
- Jacobi, C.M., Carmo, F.F. & Campos, I.C., 2011. Soaring extinction threats to endemic plants in Brazilian metal-rich regions. *AMBIO*, 40: 540-543.
- Jacobi, C.M.; Carmo, F.F.; Vincent, R.C. & Stehmann, J.R. 2007. Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 16: 2185-2200.
- Lobato, L.M.; Baltazar, O.F.; Reis, L.B.; Achtschin, A.B.; Baars, F.J.; Timbó, M.A.; Berni, G.V; Mendonça, B.R.V. & Ferreira, D.V. 2005. *Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa*. Belo Horizonte: CODEMIG. DVD.
- Mendonça, M.P. & Lins, L.V. 2000. *Lista vermelha das espécies ameaçadas de extinção da flora de Minas Gerais*. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas / Fundação Zoo-Botânica de Belo Horizonte.
- Morelato, P.C. & Rosa, N.A. 1991. Caracterização de alguns tipos de vegetação na região amazônica, Serra dos Carajás, Pará. Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 14: 1-14.
- Mourão, A. & Stehmann, J.R. 2007. Levantamento da Flora do Campo Rupestre sobre Canga Hematítica Couraçada remanescente na Mina do Brucutu, Barão de Cocais, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia*, 58 (4): 775-786.

- Nunes, J.A.; Schaefer, C.E.G.R.; Ferreira Júnior, W.G.; Neri, A.V.; Correa, G.R. & Enright, N.J. 2015. Soil-vegetation relationships on a banded ironstone 'island', Carajás Plateau, Brazilian Eastern Amazonia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. No prelo.
- Porto, M.L. & Silva, M.F.F. 1989. Tipos de Vegetação metalófito em áreas de Carajás e de Minas Gerais. *Acta Botânica Brasílica*, 3(2): 13-21.
- Rizzini, C.T. 1979. *Tratado de Fitogeografia do Brasil. Aspectos sociológicos e florísticos*. São Paulo: Editora de humanismo, Ciência e Tecnologia.
- Rodrigues-Netto, A. 1996. *Influência da mineralogia da fração argila sobre propriedades físico-químicas de solos Brasileiros*. Viçosa: Editora UFV. 144 p.
- Sarcinelli, T.S.; Schaeffer, C.E.G.R.; Lynch, L.S.; Arato, H.D.; Viana, J.H.M.; Albuquerque Filho, M.R. & Gonçalves, T.T. 2009. Chemical, physical and micromorphological properties of termite mounds and adjacent soils along a toposequence in Zona da Mata, Minas Gerais State, Brazil. *Catena*, 76: 107-113.
- Santos, L.M.; Arruda, L.; Custódio, R.; Salino, A. & Rodrigues, A.F. 2008. *Uso de capeamento para recuperação de Campo Rupestre Laterítico em áreas mineradas no Quadrilátero Ferrífero*. Belo Horizonte: II COMBIO.
- Santos, L.M. & Neto, S.E. 2006. *A gestão dos recursos hídricos e a mineração: recomposição ambiental e reversão de impactos sobre recursos hídricos em empresa mineradora de pequeno porte: estudo de caso da mina de quartzito da SICAL Industrial*. Brasília: IBRAM/ANA, 334. p. 273-287.
- Santos, M.D.C. & Varajão, A.F.D.C. 2004. Sedimentation and Pedogenic features in a clay deposit in Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 76: 147- 159.
- Schaefer, C.E.G.R. 2001. Brazilian latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. *Australian Journal of Soil Research*, 39: 909-926.
- Schaefer, C.E.G.R.; Dias, J.R.; Mata, L.C.; Michel, R.F. & Oliveira, A.C. 2004a. *Análise Espacial do Regime Hídrico dos Solos e da Bacia da Mutuca, após Instalação da Cava da Mina de Capão Xavier - Nova Lima - MG*. In: XV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Santa Maria – RS.
- Schaefer, C.E.G.R.; Gilkes, R.J. & Fernandes, R.B.A. 2004b. Study on microaggregates of Brazilian Latosols, in relation to P adsorption and clay fraction attributes. *Geoderma*, 123: 69-81.
- Schaefer, C.E.G.R.; Ker, J.C.; Campos, J.C.F.; Costa, L.M. & Gilkes, R. 2002. Pedogenesis on the Uplands of the Diamantina Plateau: a chemical and micropedological study. *Geoderma*, 107(3): 93-119.
- Schaefer, C.E.G.R.; Simas, F.N.B.; Mendonça, B.A.F.; Saboya, A.S.; Ferreira Júnior, W.G.; Nunes, J.A. & Correa, G.R. 2008a. *Geodiversidade dos Ambientes de Canga na Região de Carajás – Pará*. Relatório técnico Vale do Rio Doce. 75 p.
- Schaefer, C.E.G.R.; Mendonça, B.A.F. & Ribeiro, A.S. 2008b. Solos desenvolvidos sobre canga ferruginosa no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: Jacobi, C.M. *Simpósio Afloramentos Ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero: Biodiversidade, Conservação e Perspectivas de Sustentabilidade*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Biológicas.

Schaefer, C.E.R.G.; Mendonça, B.A.F.; Ferreira Júnior, Valente, E.L. & Correa, G.R. 2012. *Relações Solo-Vegetação em alguns ambientes brasileiros: Fatores Edáficos e Florística*. *Ecologia de florestas tropicais do Brasil*. Viçosa: Editora UFV. 2ª edição.

Secco, R.S. & Mesquita, A.L. 1983. Notas sobre a vegetação de Canga da Serra Norte - I. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (Botânica)*, 59: 1-13.

Semir, J. 1991. *Revisão taxonômica de Lychnophora Mart. (Vernoniaceae: Compositae)*. Tese de Doutorado. Campinas: Universidade Estadual de Campinas.

Silva, M.F.F. 1992. Distribuição de metais pesados na vegetação metalófila de Carajás. *Acta Botânica Brasílica*, 6: 107-22.

Sonter, L.J., Barrett, D.J., Soares-Filho, B.S. & Moran, C.J. 2014. Global demand for steel drives extensive land-use change in Brazil's Iron Quadrangle. *Global Environmental Change*, 26: 63-72.

Tardy, Y. & Nahon, D. 1985. Geochemistry of laterites. Stability of Al-goethite, Al-hematite and Fe³⁺-kaolinite in bauxites and ferricretes. An approach to the mechanism of concretion formation. *American Journal of Science*, 285: 865-903.

Vanzolini, P. & Brandão, C.R.F. 1986. *Diretrizes gerais para um levantamento faunístico*. In: *Carajás - Desafio Político, Ecologia e Desenvolvimento*. Brasília: CNPq / Ed. Brasiliense.

Veloso, H.P.; Rangel Filho, A.L.R. & Lima, J.C.A. 1991. *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal*. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 123 p.

Viana, P.L. & Lombardi, J.A. 2007. Florística e caracterização dos Campos Rupestres sobre canga na Serra da Calçada, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia*, 58(1): 159-177.

Vincent, R.C. 2004. *Florística, fitossociologia e relações entre a vegetação e o solo em áreas de campos ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Tese de Doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo.

HIDROGEOLOGIA E OS GEOSSISTEMAS FERRUGINOSOS

Evandro Moraes da Gama & Germano Pereira Matias

Introdução

Nos dias de hoje, quando a comunicação é farta e rápida, poderíamos pensar que o tema água é de amplo conhecimento da maioria das pessoas, o que de fato é uma inverdade, infelizmente, de modo especial em nosso país. Os exemplos são muitos: quando vemos uma pessoa lavando a calçada com grandes volumes de água, sem se preocupar de onde a mesma veio ou pra onde vai, e que talvez, por ver água casualmente caindo dos céus, imagine ser este um recurso infinito. Ou quando notamos a falta de iniciativa, por parte de alguns ramos da indústria, de implementar tecnologias de reuso ou redução no consumo intensivo de água em seus processos, em uso corrente em alguns países mais desenvolvidos.

O ramo da geociência que estuda a água subterrânea no planeta é chamado Hidrogeologia. Com o avanço da ciência e da tecnologia, hoje, procuramos água no universo. O motivo é sublime, pois onde existe água são grandes as chances de haver vida biológica, pelo menos como a conhecemos. O corpo humano, por exemplo, é composto 65% por água, enquanto o cérebro em especial é composto 85% por água.

Este capítulo tem como objetivo mostrar, de forma simples e ilustrada, o aparecimento da água em diversos momentos na Terra, o ciclo da água, as principais fontes, os tipos de reservatórios de água e o monitoramento da água. De forma aplicada, apresentar um breve diagnóstico do enorme depósito de água que nos abastece, o Aquífero Cauê.

Origem da água

Nossa Terra era, em seu nascimento, rocha fundida surgindo das profundezas, se solidificando e quebrando sucessivas vezes, empolando e formando finas camadas na crosta. Uma atmosfera desprovida de oxigênio, carregada de vapor d'água e gás carbônico. Ao longo de milhões de anos, a Terra se resfriou. O vapor d'água condensado fustigava a crosta com chuvas torrenciais. Por se encontrar a uma distância oportuna do Sol, nosso planeta foi capaz de conservar água em seu estado líquido. Os rios solubilizaram os minerais das rochas e os carregaram para os oceanos, que então se tornaram abundantes em sais.

Potabilidade

Padrões de potabilidade, as características que delimitam o modelo de água destinada ao abastecimento doméstico, compreendem critérios essenciais e critérios complementares. Os principais critérios dizem respeito à proteção contra a contaminação por microorganismos patogênicos e contra a poluição por substâncias tóxicas ou venenosas. Critérios complementares objetivam o aperfeiçoamento da água com relação a aspectos estéticos e organolépticos (cor, sabor, odor, turbidez, dureza, corrosividade etc.). Há uma tendência mundial de padronização das normas existentes da Organização Mundial de Saúde, embora os padrões de potabilidade apresentados pelos órgãos responsáveis variem de região para região, em função de peculiaridades locais. A portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/11 trata dos procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico é o sistema pelo qual a natureza faz a água circular do oceano para a atmosfera, de onde segue para os continentes, depois retornando, superficial e subterraneamente, ao oceano. Este ciclo é governado, no solo e subsolo, por ação da gravidade, bem como pelo tipo de relevo e densidade das coberturas vegetais. Na atmosfera e em grandes extensões líquidas, como rios, oceanos etc., ele é governado por fatores climáticos, como a temperatura do ar, umidade relativa, ventos e radiação solar, que são agentes nos processos de circulação da água dos oceanos para a atmosfera, em uma dada latitude terrestre.

Balanço hídrico

O balanço hídrico corresponde a uma análise comparativa entre as quantidades de água que entram e que saem do sistema (uma bacia hidrográfica). O balanço envolve na entrada a precipitação, que está relacionada com o clima e o relevo, e, de outro lado, na saída, o escoamento superficial, a infiltração e a evapotranspiração.

Tipos de aquíferos

Os aquíferos podem ser classificados tomando-se como critério a pressão de água nas suas superfícies de fronteira: a superior, chamada topo, e a inferior, chamada base, e também em função da capacidade de transmissão de água das camadas limítrofes.

Aquífero livre, também chamado freático ou não confinado, é aquele cujo limite superior é uma superfície tal, que todos os seus pontos se encontram à pressão atmosférica. As áreas de recarga de aquíferos confinados são aquíferos livres através dos quais os excessos de água da chuva conseguem penetrar via infiltração. Quando um aquífero livre é formado sobre uma camada impermeável ou semipermeável de extensão limitada, e situada entre a superfície freática regional e o nível do terreno, ele se denomina aquífero suspenso. Esses aquíferos por vezes existem de modo transitório, dado que suas águas escoam para o nível freático subjacente.

Aquífero confinado, ou aquífero sobre pressão, é um aquífero no qual a pressão da água no topo é maior do que a pressão atmosférica. Encerra dois tipos: não drenante e drenante. O aquífero confinado não drenante é um aquífero cujas camadas limítrofes são impermeáveis. Em um poço adentrando um aquífero desse tipo, o nível da água subterrânea fica em uma posição mais elevada que a da base da camada confinante superior. Esse nível pode estar abaixo ou acima da superfície do solo. No caso de se encontrar acima, o poço é chamado artesiano jorrante. Este nível de água no poço indica a carga potenciométrica (carga hidráulica) média ao longo da zona do filtro do poço ou da zona de admissão de água do poço. Aquífero confinado drenante é um aquífero onde pelo menos uma das camadas limítrofes apresenta permeabilidade alta, o que possibilita a entrada ou saída de fluxos pelo topo e/ou pela base, por drenagem vertical ascendente ou descendente.

Outra classificação se baseia no tipo de rocha armazenadora:

(1) Aquíferos fraturados ou fissurados

Os aquíferos fraturados estão associados a rochas ígneas e metamórficas. A capacidade destas rochas em acumular água está relacionada à quantidade e distribuição das fraturas, bem como de aberturas e do modo como se dá a intercomunicação entre as mesmas. Em geral, quando explorados, aquíferos fraturados produzem menores vazões. No entanto, por questões de localização geográfica, são muito importantes para o abastecimento do país, estando em áreas nas quais se localizam grandes cidades e, assim, são largamente utilizados no abastecimento.

(2) Aquíferos porosos

Aquíferos do tipo poroso têm por característica apresentar uma grande quantidade de poros, por onde a água circula. São frequentemente formados por rochas sedimentares consolidadas (ligadas por um cimento, como é o caso das brechas) ou não consolidadas (os detritos não estão ligados entre si, como no caso das dunas) e solos arenosos. Constituem-se no tipo de aquífero mais importante, haja vista o grande volume de água que podem armazenar, e por ocorrerem em grandes extensões. Geralmente são encontrados nas bacias sedimentares ou várzeas onde se acumularam sedimentos arenosos. A recarga desse tipo de aquífero é mais intensa do que nos de tipo fraturado. Neste grupo são verificados os Aluviões Quaternários e as coberturas detríticas Terciário-Quaternárias.

(3) Aquíferos cársticos

Sua formação tem lugar em rochas carbonáticas, como calcário e dolomito. Constituem um tipo particular de aquífero fraturado, onde as fraturas, em função da intensa dissolução do carbonato pela água, podem produzir aberturas muito extensas. Nestas, a água circula a maiores velocidades, acelerando o processo de dissolução que culmina na geração de legítimos rios subterrâneos.

Contaminação dos aquíferos

Ainda que encerrados nas camadas inferiores da crosta terrestre, os aquíferos também podem ser atingidos pela poluição, dado que suas águas também estão no ciclo hidrológico e logo podem receber substâncias contaminantes. Em especial, se a região de recarga estiver sob uma área urbana densamente povoada, ou caso se realize a prática da agricultura comercial em suas áreas de recarga (devido a agrotóxicos e outros insumos agrícolas), ou na ocorrência de lixões, que contaminam a água com o chorume que produzem. Se as águas de aquíferos são mais difíceis de serem contaminadas que as águas de superfícies, o oposto se verifica quando se trata de sua recuperação. Uma vez que se contamine um aquífero, é muito difícil limpá-lo, e o capital despendido é muitas vezes proibitivo, sendo demasiadamente caro recuperar um aquífero contaminado.

As ações antrópicas têm criado graves conflitos entre os usuários dos recursos hídricos. Os principais elementos motivadores são: 1) inadequações na disposição dos resíduos sólidos e no lançamento de efluentes; 2) rebaixamento dos níveis de água nas minerações, reduzindo as vazões naturais dos mananciais e os níveis de água no entorno; 3) captação das vazões totais dos mananciais, o que compromete o escoamento de base e os ecossistemas do entorno dos reservatórios.

Barragens de rejeito

Na atividade de mineração, todo o processo de concentração mineral, cuja rota é por via úmida, gera uma quantidade significativa de rejeitos, os quais necessitam de uma disposição controlada, realizada em função das suas características reológicas e composição química. Esses rejeitos são materiais remanescentes do processo de beneficiamento e concentração de minérios em instalações industriais, cujas características granulométricas dependem do minério bruto a ser extraído e do processo industrial de beneficiamento, podendo abranger uma ampla faixa de materiais, desde grosseiros até solos de granulometria muito fina. Na região do Quadrilátero Ferrífero encontram-se importantes jazidas de minério de ferro, cuja exploração gera um volume considerável de rejeitos que são depositados em barragens de contenção, também conhecidas como barragens de rejeito. Essas barragens podem ser projetadas com duas funções: fornecer água para o processo industrial e reter todo o rejeito produzido no processo de concentração do minério, ou então somente para a contenção dos rejeitos. Seja qual for sua função, seu dimensionamento procura atender a todo o tempo de vida útil da mina. Após um longo período de deposição de rejeitos, o que resta nestas barragens é grande parte do seu volume assoreado. Nesse contexto, as barragens passam a ser um passivo ambiental de pouco ou nenhum benefício para os recursos hídricos. Há grandes empreendimentos em operação no Quadrilátero Ferrífero, com destaque para as empresas de mineração, com uma série de projetos, cujo beneficiamento é por via úmida e requer a edificação de barragens de rejeito. Localizada em áreas cada vez mais povoadas, a água subterrânea torna-se uma fonte importante de suprimento de água. Os recursos hídricos de origem subterrânea são de grande importância para o fornecimento global de água,

mas estão se reduzindo e sendo poluídos em várias partes do planeta. Portanto, é essencial ser capaz de prever a reação dos aquíferos quanto à quantidade e qualidade das águas em presença de atividades humanas, e mitigar os conflitos de interesse, assim como evitar os danos irreversíveis para o ecossistema e a humanidade. O conhecimento das propriedades hidrodinâmicas dos aquíferos é indispensável para um bom gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos.

Recarga de aquíferos

A complexa geologia da área determina características hidrogeológicas particulares, e se constituiu em sistemas aquíferos intrincados. Os potenciais hídricos são expressivos e importantes para a preservação dos ecossistemas e para o abastecimento público. A região vem sofrendo impactos de diversas naturezas como rebaixamento dos níveis de água, diminuição de vazões livres, drenagem ácida e contaminação, principalmente, devido à crescente ocupação urbana e às atividades de extração mineral.

Foi somente a partir da década de 1980 que se iniciaram estudos hidrogeológicos sistemáticos com a intenção de rebaixar os níveis de água para viabilizar a exploração de minério de ferro. Consequentemente, órgãos e entidades ambientais têm demandado ações para compreender a hidrodinâmica dos aquíferos. O contexto geológico é parte do Quadrilátero Ferrífero, referência clássica da geologia e tema de diversos estudos, particularmente devido às reservas de minérios de ferro, manganês e ouro, e da grande riqueza de eventos sedimentares, tectônicos, vulcânicos e intrusivos que proporcionaram um intrincado arcabouço geológico.

Formação Cauê, exemplo de um sistema geoferruginoso

O termo “formação”, na linguagem geológica, significa um conjunto de rochas com características particulares, tendo sido constituído em uma mesma época geológica e estando localizado na crosta terrestre em um espaço topograficamente definido.

A formação Cauê constitui a hospedeira do minério de ferro e corresponde ao principal aquífero do Quadrilátero Ferrífero. Exibe grande variabilidade textural e composicional, de origem primária e secundária, o que confere notável heterogeneidade e anisotropia ao aquífero, que pode se comportar como um meio essencialmente poroso ou fissural, com passagens de natureza intermediária ou mesmo maciças. Nas grandes estruturas dobradas, o Aquífero Cauê apresenta-se, em geral, como um aquífero livre balizado lateralmente por dolomitos da unidade de topo (formação Gandarela) e pelos filitos da unidade de base (formação Batatal). Diques de rocha básica, considerados aquicludes, cortam as formações e compartimentam localmente o aquífero. A descarga está condicionada aos fraturamentos e falhas, ao contato com os filitos Batatal e/ou aos efeitos de processos erosivos que conduzem à exposição do nível d'água. As vazões das nascentes são, em geral, muito elevadas, chegando a alcançar valores acima de 100 m³/h. A figura 1, a seguir, mostra a localização do Quadrilátero Ferrífero e o detalhamento de sua porção noroeste. A formação Cauê encontra-se em destaque por linhas escuras no mapa do Quadrilátero Ferrífero e na tonalidade roxo escura no mapa de detalhe.

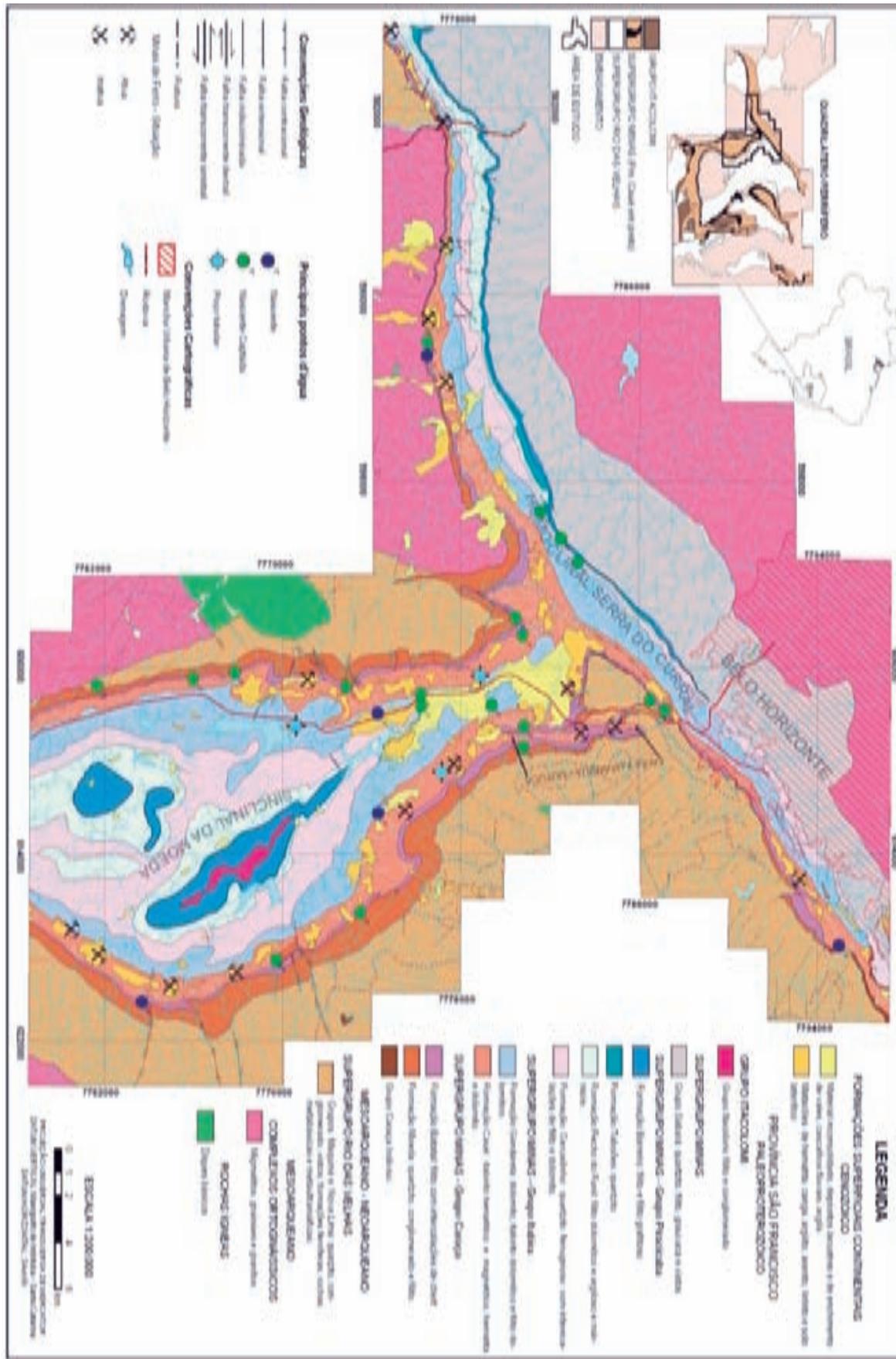


Figura 1 – Porção noroeste do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: Mourão (2007).

A recarga de um aquífero e o tempo de residência da água são características importantes para entendermos a forma como estamos usando o aquífero para abastecimento e o possível impacto que causamos na retirada desta água. De forma simplista, poderíamos dizer que o conhecimento do tempo de recarga e tempo residência da água subterrânea nos permite estudar a demanda de água e a capacidade do aquífero de se recarregar. Os estudos hidrogeológico e hidrológico de uma região são de grande complexidade, exigindo anos de monitoramento e um raciocínio complexo para interagir o regime de chuvas, a evaporação da água, o abastecimento dos rios e a recarga da água subterrânea. Este conjunto de dados é tecnicamente intitulado balanço hídrico. A seguir, mostramos esta equação, cuja resolução envolve incertezas e hipóteses e varia enormemente com a escala do problema.

O princípio que rege o método estabelece que o balanço hídrico de uma região pode ser, em geral, definido como:

$$P = ET + qs + qb + N + \Delta S \text{ (Szilagyi et al. 2003)}$$

Onde:

P é a precipitação;

ET é a evapotranspiração;

qs é o escoamento superficial;

qb é o escoamento de base;

N é qualquer entrada ou saída de água, além da precipitação e da evapotranspiração;

ΔS é a variação na reserva de água.

Cada parâmetro desta equação é passível de ser monitorado. Entretanto, como um aquífero não é um sistema fechado como uma caixa de água, as incertezas e hipóteses são inerentes à complexidade geológica da área de estudo.

A Hidrogeologia é a ciência responsável pelo estudo da água subterrânea, tendo como um dos objetivos a elaboração de um **MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL**, base para o entendimento do balanço hídrico anteriormente apresentado.

A seguir, apresentaremos um exemplo de aplicação do balanço hídrico para uma cava de mina localizada na Serra da Moeda, em Brumadinho, Minas Gerais, onde são realizados a extração e o beneficiamento de minério de ferro. Insere-se geologicamente no Quadrilátero Ferrífero, especificamente no flanco oeste do Sinclinal Moeda de eixo N-S, e suas operações de exploração restringem-se à formação/aquífero Cauê (Figura 2). A mina mantém um monitoramento constante da drenagem da cava, procedimento fundamental para a extração do minério, visto que a água impede a execução das operações necessárias e provoca desabamentos e acidentes graves. No entanto, água é também um bem imprescindível à vida no planeta Terra. O grande paradigma é que tudo, mas tudo mesmo, que usamos vem da atividade da mineração; começando do corpo humano, onde 90% dos minerais da crosta terrestre estão presentes, e chegando a um celular, tudo isto depende da mineração.

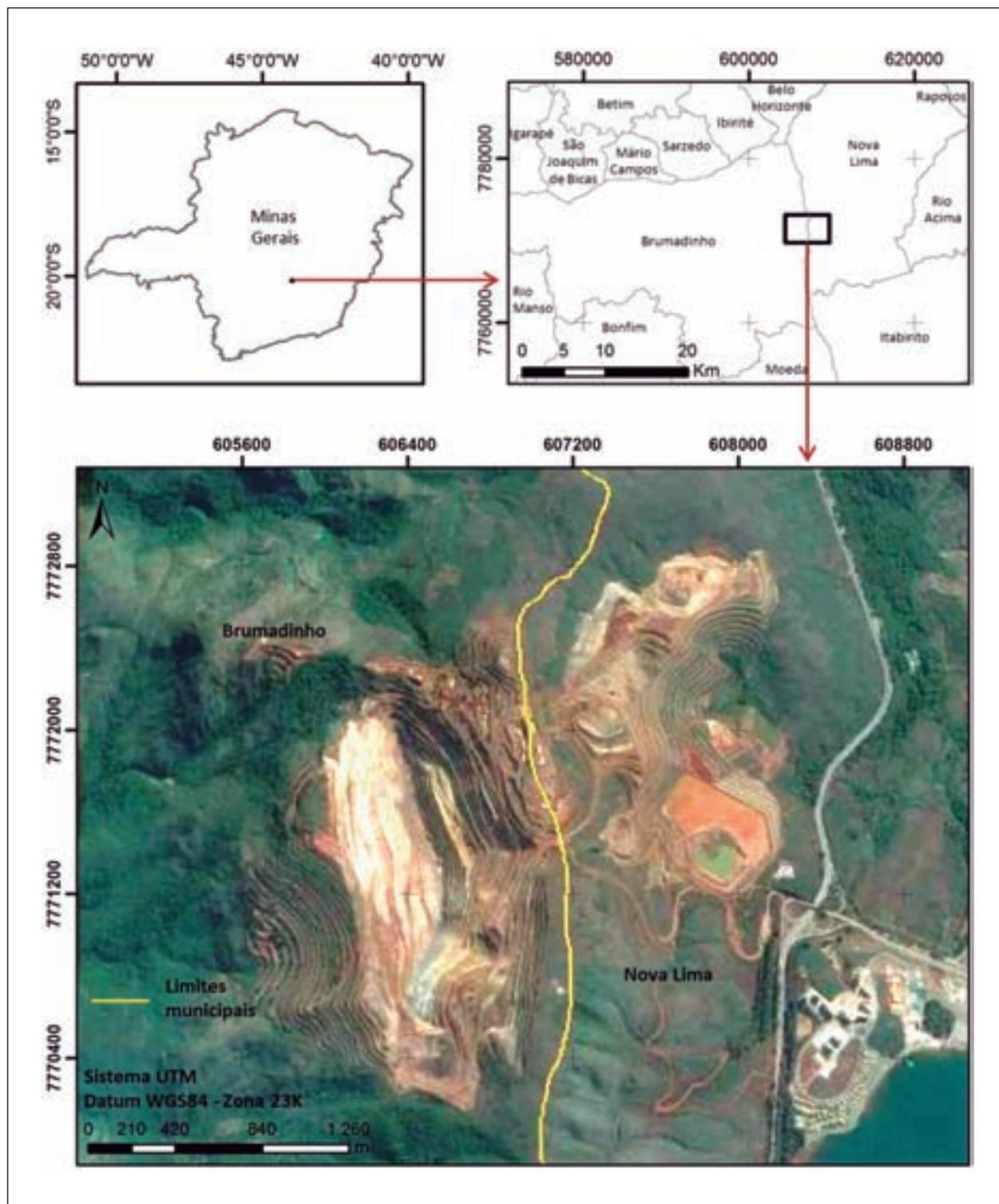


Figura 2 - Localização da mina de extração de ferro, Serra da Moeda, Brumadinho, MG. Adaptado de Leocádio (2014).

Os poços para o rebaixamento do lençol freático, monitoramento piezométrico e o mapa geológico da mina são mostrados na figura 3, a seguir.

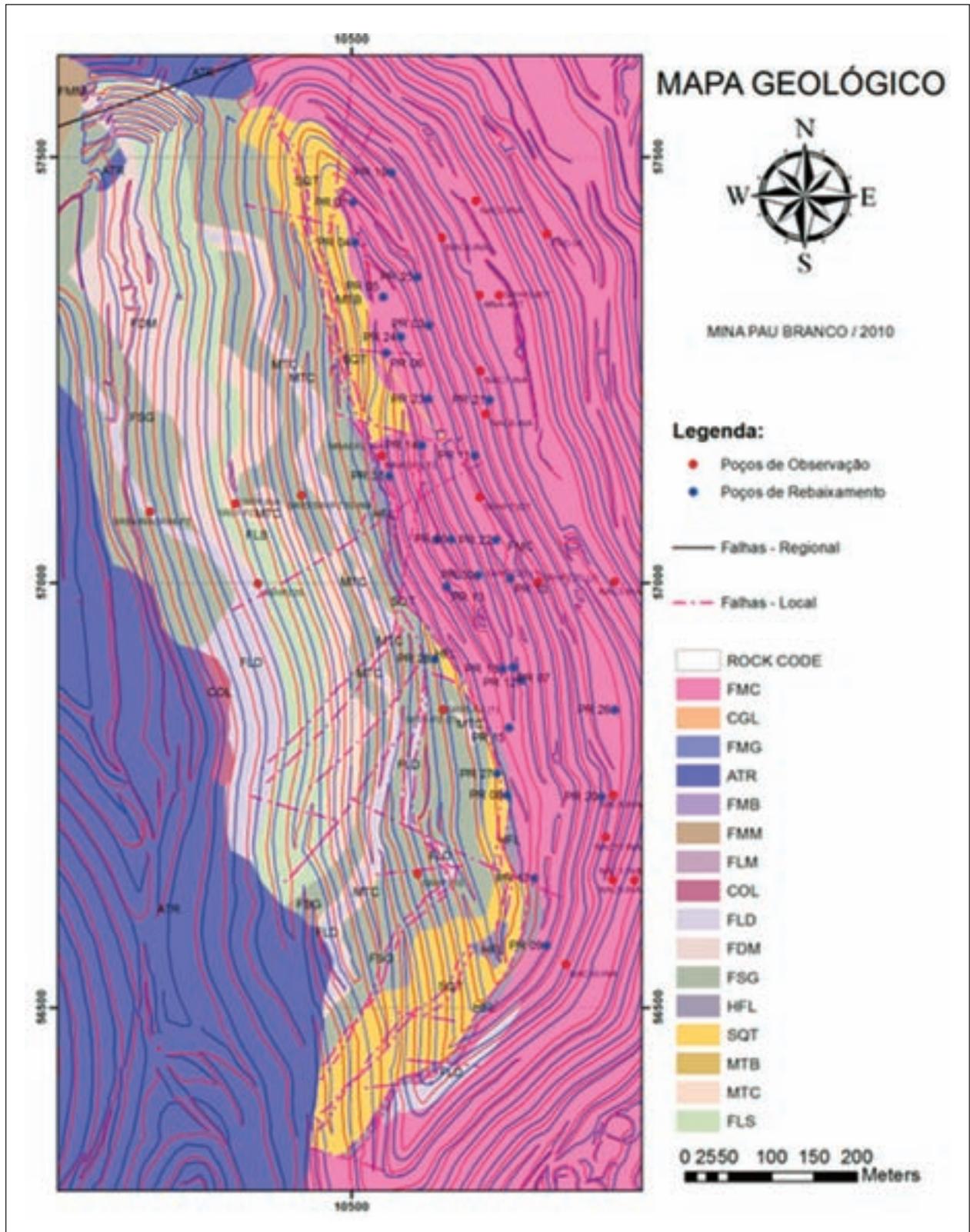


Figura 3 – Mapa Geológico da região da mina de extração de ferro, Serra da Moeda. Brumadinho, MG. ATR: aterro; CGL: canga laterítica; COL: paleocolúvio; FDM: filito dolomítico/metachert; FLD: filito dolomítico; FLM: filito Moeda; FLS: filito sericítico, FMB: formação Batatal; FMC: formação Cauê; FMG: formação Gandarela; FMM: formação Moeda; FSG: filito sericítico/grafitoso; HFL: hematita filito; MTB: dique de rocha metabásica; MTC: metachert; SQT: sequência transicional – Batatal/Cauê. Fonte: Leocádio (2014).

Porém, de forma mais abrangente, o entorno da cava também é monitorado. Este entorno é composto das nascentes e cursos de água onde dispositivos especiais, como vertedouros e piezômetros, são igualmente instalados. No caso da mina de extração de ferro, localizada na Serra da Moeda, este entorno está dentro de uma área de 6.932.543m², limitada por divisores de águas com cota de 1500 metros no lado Leste e de 1400 metros no lado Norte, apresentando forma retangular.

Um conceito aplicado de BALANÇO HÍDRICO deverá levar em consideração a infiltração **I** da água e a perda por evaporação, intitulada evapotranspiração **ETR**.

$$P - ETR - R - I = \Delta S$$

Esta equação mostra que a água estocada ou a variação da quantidade de água estocada ΔS é a diferença entre a:

Pluviometria representada pela precipitação **P**, ou seja, chuvas, a perda que se dá através da evaporação **ETR**, a saída de água do sistema pelo deflúvio **R** e a infiltração de água no sistema **I**.

Os dados relativos à pluviometria são obtidos através de estações pluviométricas instaladas na área. A evapotranspiração é um dado regional, objeto de teses acadêmicas e trabalhos técnicos. A água de saída do sistema **DEFLÚVIO** é monitorada pelos vertedouros instalados nas nascentes, somados ao volume de água bombeada dos poços de rebaixamento. A **INFILTRAÇÃO** é um parâmetro calculado pela porosidade dos solos e rochas, associando-se ao relevo. Finalmente, a água estocada no aquífero é monitorada pela rede de piezômetros ΔS .

O resultado do balanço hídrico para o período de 12 meses, de dezembro de 2008 a dezembro de 2009, é mostrado no quadro abaixo.

Quadro 1 - Balanço hídrico da mina de extração de ferro, Serra da Moeda, Brumadinho, MG.

Conceitos	Pluviometria	Evapo transpiração	Deflúvio	Infiltração	Varição da água retida no subsolo
unidade	mm/dia	mm/dia	mm/dia	mm/dia	mm/dia
	93,3	2,94	1	0,423	88,937

Como o valor mesurado pelos piezômetros instalados foi de 81 mm/dia, e o valor calculado é de 88,94mm/dia, pela relativa proximidade dos valores mostrados, conclui-se que a área de influência representada pelo polígono com 6.932.543 m² é a área que sofre a influência direta das operações de rebaixamento do lençol freático. Com relação ao valor 81mm/dia, ou o calculado 88,94mm/dia, podemos dizer que o aquífero localizado nos limites da área tem um aporte positivo de água. Em outras palavras, o volume de água retirado para o rebaixamento não retira água da reserva geológica, retira água da recarga promovida pelas chuvas.

Podemos concluir que, para a área monitorada, obtivemos, no período, um aumento do nível de água subterrâneo de 88,9 mm por dia, em média. Desta forma é possível inferir que a água drenada pela mina não retira um volume maior que o volume de água que entra através das chuvas.

Modelo hidrogeológico para o Aquífero Cauê

A extração do minério de ferro no Quadrilátero Ferrífero responde, atualmente, por 71% da produção brasileira, mas chegou a ser, até o ano de 1986, responsável pela totalidade da produção no país. Tais números indicam a importância da indústria extrativa de ferro na região, que se encontra em expansão na busca de novos alvos de prospecção e de tecnologias para o aproveitamento do minério menos enriquecido, visto que várias minas estão em vias de exaustão. Ao lado dos recursos minerais, sobressai outro recurso, o hídrico, cuja grande disponibilidade conduziu à implantação de sistemas de abastecimento, dos quais se destacam aqueles mantidos pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA, cujos sistemas Rio das Velhas, Morro Redondo, Catarina e Ibitaré produzem juntos 51% da demanda de água para a região metropolitana de Belo Horizonte (Figura 4) e correspondem a uma captação total de 25.848 m³/h. Registros históricos indicam que o próprio local de implantação da Vila Del Rey (antiga denominação de Belo Horizonte) foi estabelecido, ao menos em parte, pela grande quantidade de água em seus arredores. Tratando-se especificamente dos recursos hídricos subterrâneos, tem-se como principal aquífero a unidade geológica hospedeira dos corpos de minério de ferro, denominada de Formação Cauê.

Dados apresentados por Davis *et al.* (2005), em estudo realizado na Área de Proteção Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte - APASul, que abrange parte expressivo do Quadrilátero Ferrífero, revelam que o uso da água para abastecimento público prepondera sobre os demais e representa 54,2% do volume total estimado como captado (5.706.415 m³/mês). É destacado que a captação superficial de nascentes corresponde a 79,4% do volume utilizado para esse fim, enquanto as captações superficiais e subterrâneas (poços tubulares) respondem, respectivamente, por 13,3% e 7,3%. A mineração representa o segundo usuário mais importante, utilizando 26,7% do volume total captado. Cerca de metade do volume retirado deve-se à atividade de desaguamento das minas, e o restante ao suprimento das demais demandas. A indústria, os condomínios e a atividade agrícola aproveitam, respectivamente, 8, 7,6 e 2,5% do volume total captado. A captação superficial é mais utilizada pela indústria e agricultura, enquanto o abastecimento de condomínios é feito essencialmente por meio de captações de nascentes ou poços tubulares. A figura 5 ilustra as relações apresentadas de consumo de água por setor.

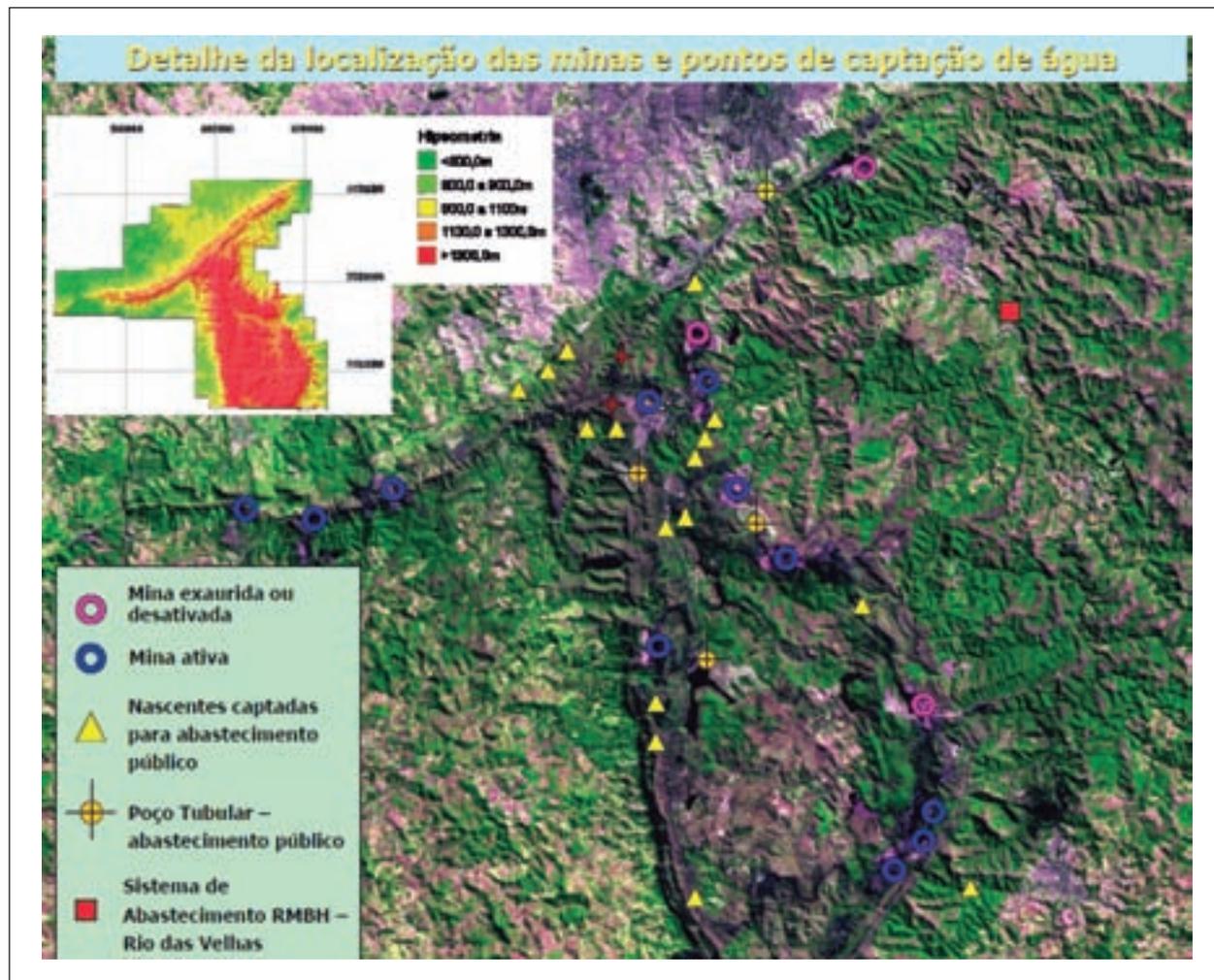


Figura 4 - Captações de água e minerações no Aquífero Cauê, porção noroeste do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: Mourão (2007).

No ano de 2007, a tese de Doutorado da Geóloga Maria Antonieta Mourão trouxe a público informações valiosas acerca da possível recarga do Aquífero Cauê, tendo em conta a ampla extração de água subterrânea da qual este é alvo. A estimativa de recarga do Aquífero Cauê produzida por Mourão (2007) fez uso das técnicas mais apuradas e consagradas no meio técnico, que este contexto não permite explicitar. A título de informação, enumeramos a seguir estas técnicas:

- ♦ Método de flutuação do nível de água em instrumentação de campo;
- ♦ Método de Rorabaugh;
- ♦ Método de Green Ampt;
- ♦ Balanço hídrico empregando fração do escoamento de base em relação à vazão total da bacia;
- ♦ Método do balanço hídrico integrado a um sistema de informações geográficas (SIG).

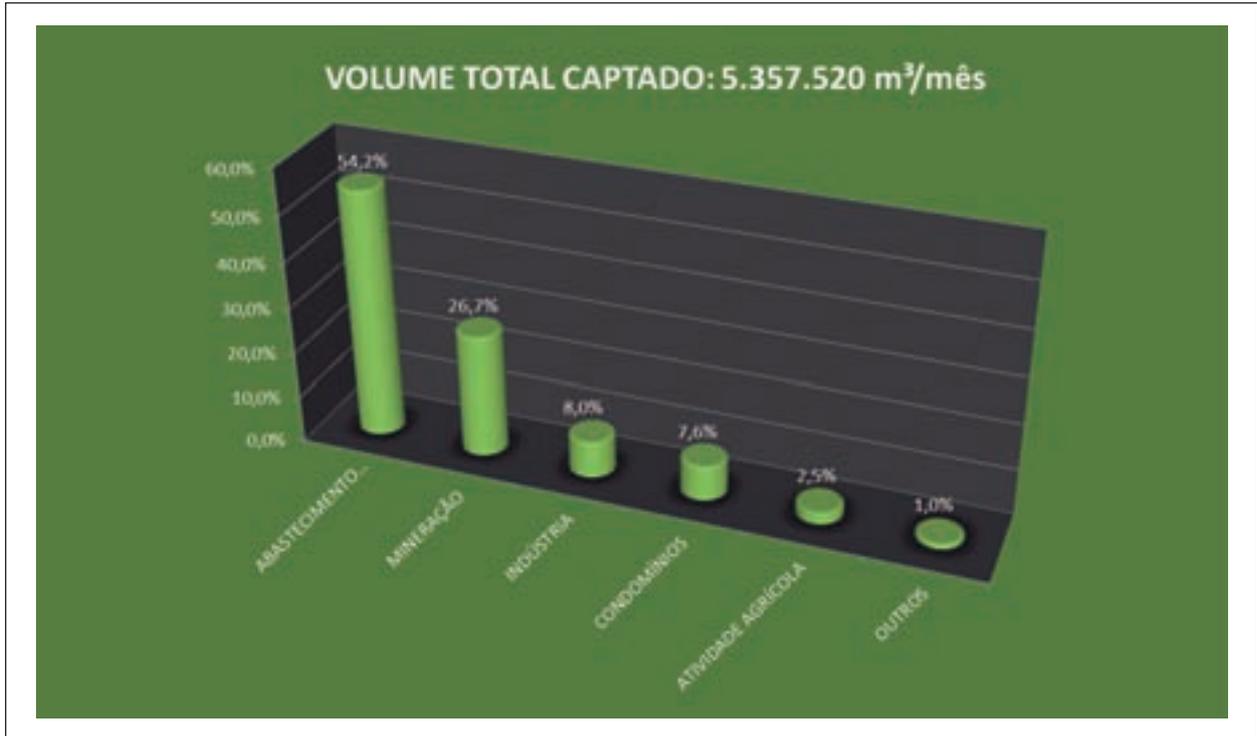


Figura 5 - Captação e uso da água na Área de Proteção Ambiental Sul da região metropolitana de Belo Horizonte, que abrange grande parte do Quadrilátero Ferrífero e nele se insere. Adaptado de Davis *et al.* (2005).

Uma análise estatística combinada entre os métodos revelou os resultados integrados na figura 6, que mostra as taxas de recarga em porcentagem de precipitação, nas bacias estudadas. Consta-se que, para o Cauê, esta porcentagem é superior a 38%.

Os resultados de tempo de renovação e direção de fluxo subterrâneo, obtidos na pesquisa a partir de análise geológica, hidrogeológica, hidrológica e hidroquímica, encontram-se representados nas figuras 8, 9, 10, 11 e 12.

Os dados revelam que os tempos de residência ultrapassam a 40 anos, salvo para a parte do setor ocidental da Serra do Curral, próximo à Mina Santa Paulina, onde existem falhamentos que condicionam este fluxo. Podemos dizer que as recargas ultrapassam a, no mínimo, uma geração humana.

Os fatores geológicos que condicionam a recarga, o armazenamento e o fluxo caracterizam o Cauê como de comportamento hidráulico pouco uniforme. Falhamentos e o intemperismo permitem e facilitam o fluxo de água. As descargas estão relacionadas ao contato com rochas menos permeáveis, a locais de maior dissecação de relevo e, eventualmente, condicionadas a falhas ou fraturamentos. Com relação à recarga proveniente das chuvas, os grandes fatores reguladores correspondem às características da cobertura superficial dos solos. Escavações e abertura de cavas de mina requerem monitoramento constante e reavaliação periódica. Se, por um lado, as escavações expõem o aquífero, por outro lado retiram as coberturas de solo e de canga, o que provoca um fluxo difuso e erosivo ao relevo. Além disso, há a exploração de água

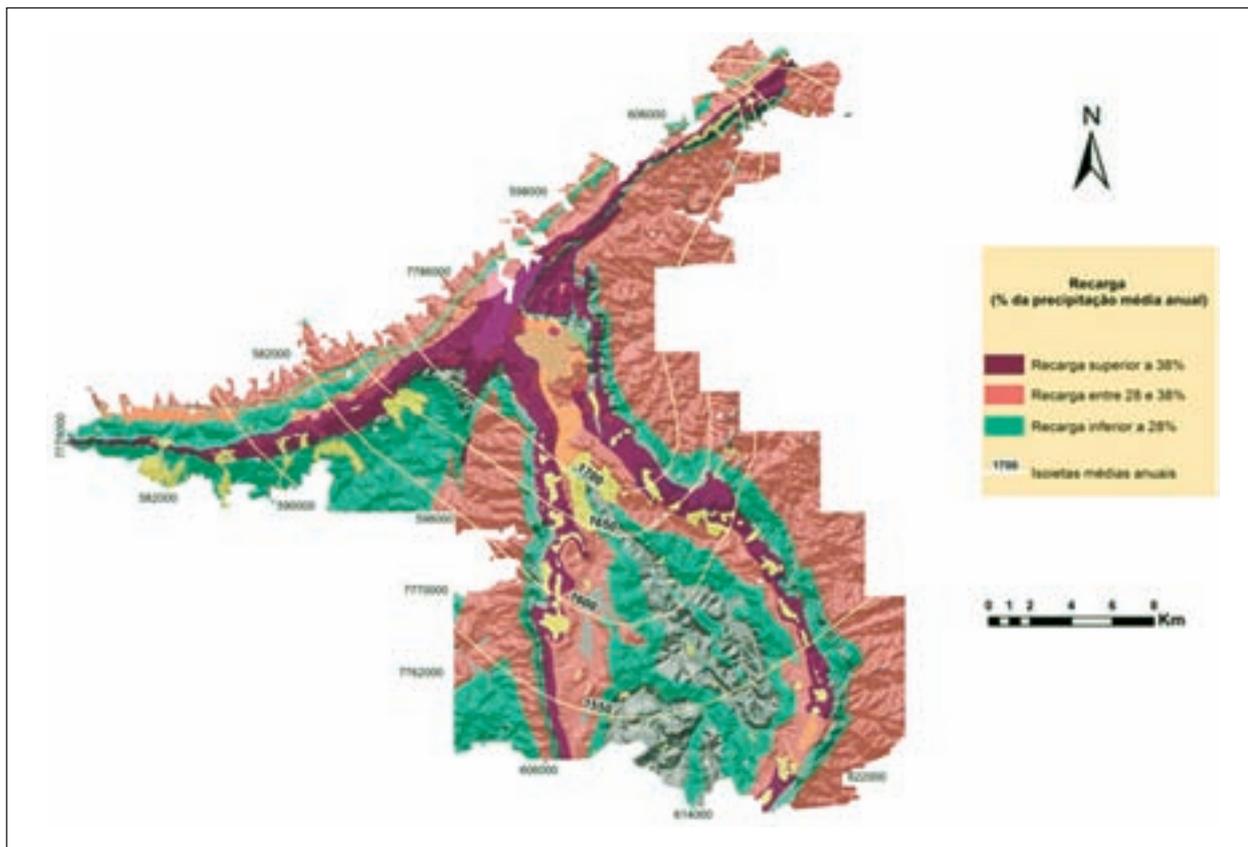


Figura 6 - Taxas de recarga, em porcentagem, da precipitação média anual para a porção noroeste do Quadrilátero Ferrífero. Destaque para os valores de recarga do Aquífero Cauê, em geral acima de 38%. Fonte: Mourão (2007). Os resultados relativos ao tempo de residência, ou seja, o tempo em que a água permanece no sistema subterrâneo, às direções de fluxo da água subterrânea e às vazões de descarga de nascentes são apresentadas de forma setorizada, em função da conformação das rochas e conseqüente condicionamento da dinâmica do fluxo subterrâneo. A figura 7, a seguir, mostra a setorização adotada.

subterrânea associada ao processo de rebaixamento de nível da água, essencial para lavra, sendo que, de modo geral, parte do volume extraído é empregada em atividades diversas na mineração, e parte é disponibilizada para cursos d'água como forma de mitigação dos impactos, a partir de acordos com usuários e determinações do órgão gestor.

O uso de água subterrânea para consumo humano responde pelo maior volume utilizado do Aquífero Cauê, que pode ocorrer tanto por poços tubulares quanto por captação de nascentes. Este uso tende a crescer com o aumento da população. Visto o elevado tempo de residência das águas, é evidente que o consumo de água é motivo de preocupação na medida em que se verifica desperdício constante e consumo não ordenado. A gestão de recursos hídricos é o único instrumento capaz de organizar o consumo de água e prevenir o racionamento. Uma das ferramentas fortes é o desenvolvimento e aprofundamento dos estudos hidrogeológicos com modelos numéricos computacionais, calibrados com parâmetros hidrodinâmicos consistentes e resultantes

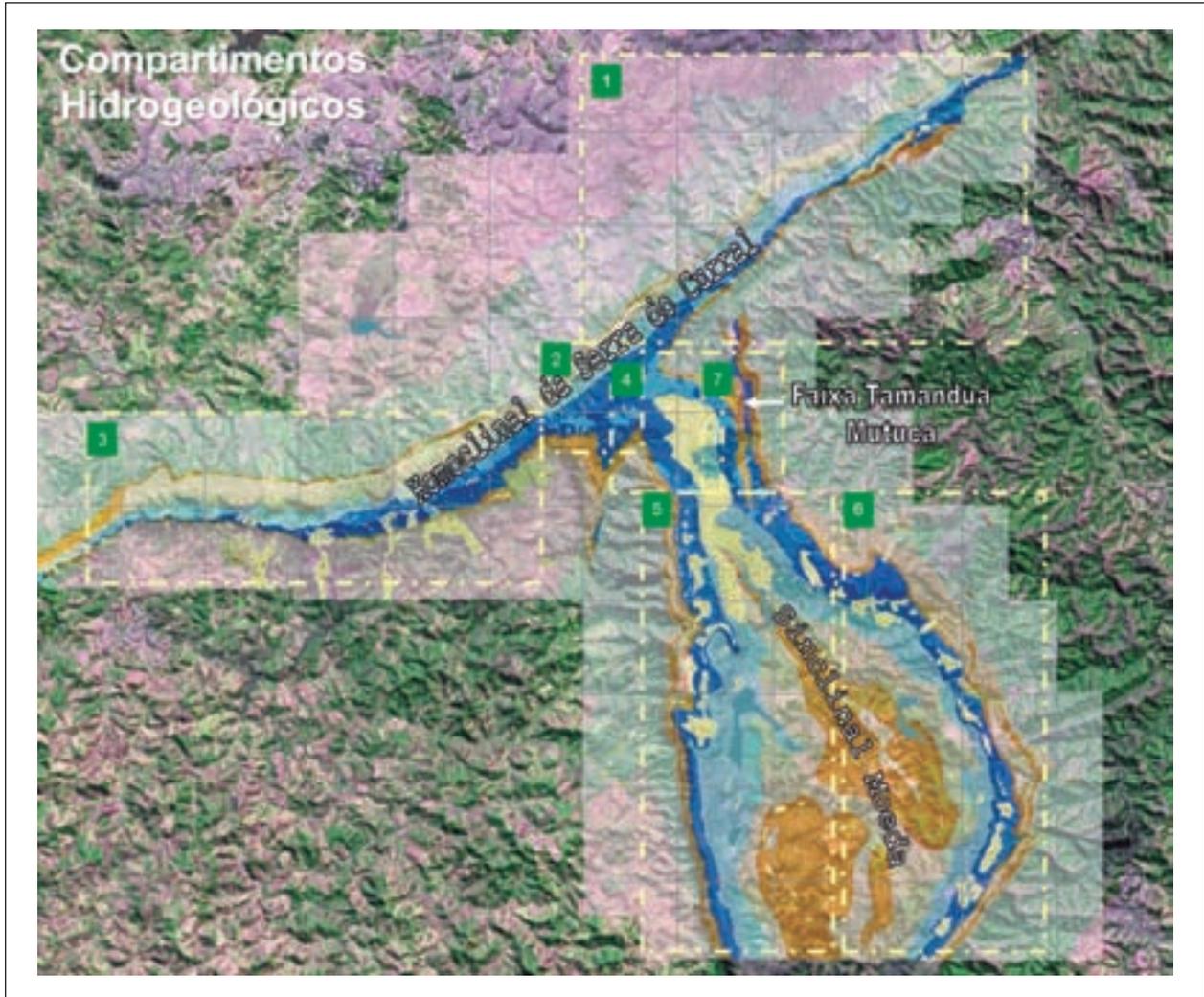


Figura 7 - Compartimentação hidrogeológica adotada em função da conformação das rochas e condicionamento do fluxo subterrâneo: 1) Setor nordeste do homoclinal da Serra do Curral; 2) Região central do Homoclinal da Serra do Curral – Junção com o Sinclinal Moeda; 3) Setor Sudoeste do homoclinal da Serra do Curral; 4) Porção setentrional do Sinclinal Moeda – Junção com o Homoclinal da Serra do Curral 5) Flanco Oeste do Sinclinal Moeda; 6) Flanco Leste do Sinclinal Moeda; 7) Faixa Tamanduá-Mutuca. Fonte: Mourão (2007).

de monitoramento e ensaios de campo e/ou de laboratório. O monitoramento hidrogeológico, tendo como exemplo o monitoramento de outros fluidos na indústria, e mesmo do ar, deverá ser realizado em tempo real, utilizando sensores eletrônicos para medidas de vazão e nível d'água com dados transmitidos via telemetria e com tratamento de dados através de *softwares* especializados. Este conjunto de instrumentos objetiva a consolidação do modelo conceitual que é, por fim, a base para um processo de gestão e subsídio para a outorga e uso.

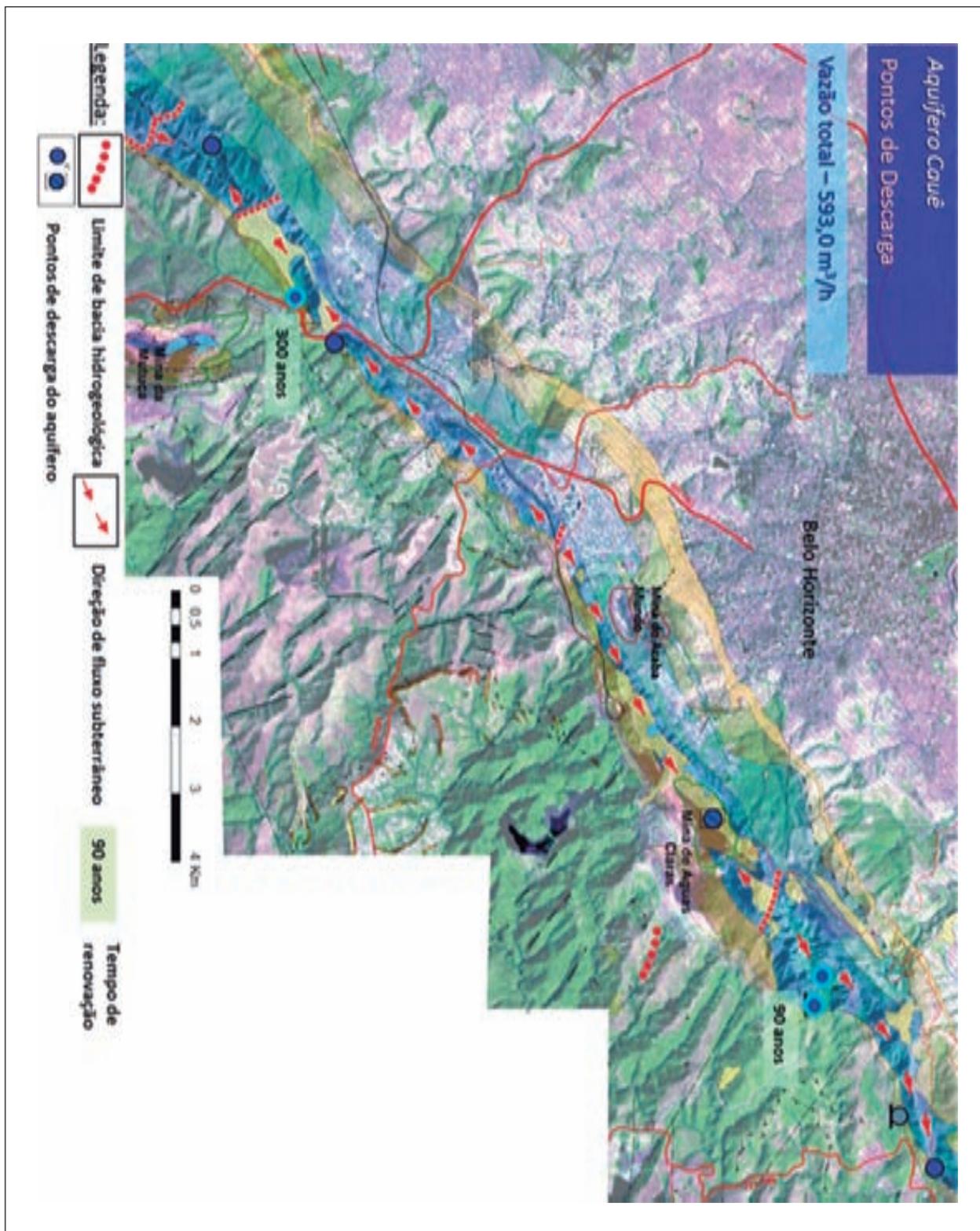


Figura 8 - Resultados de tempo de renovação e direção de fluxo subterrâneo do Aquífero Cauê, em um trecho da Serra do Curral. Fonte: Mourão (2007).

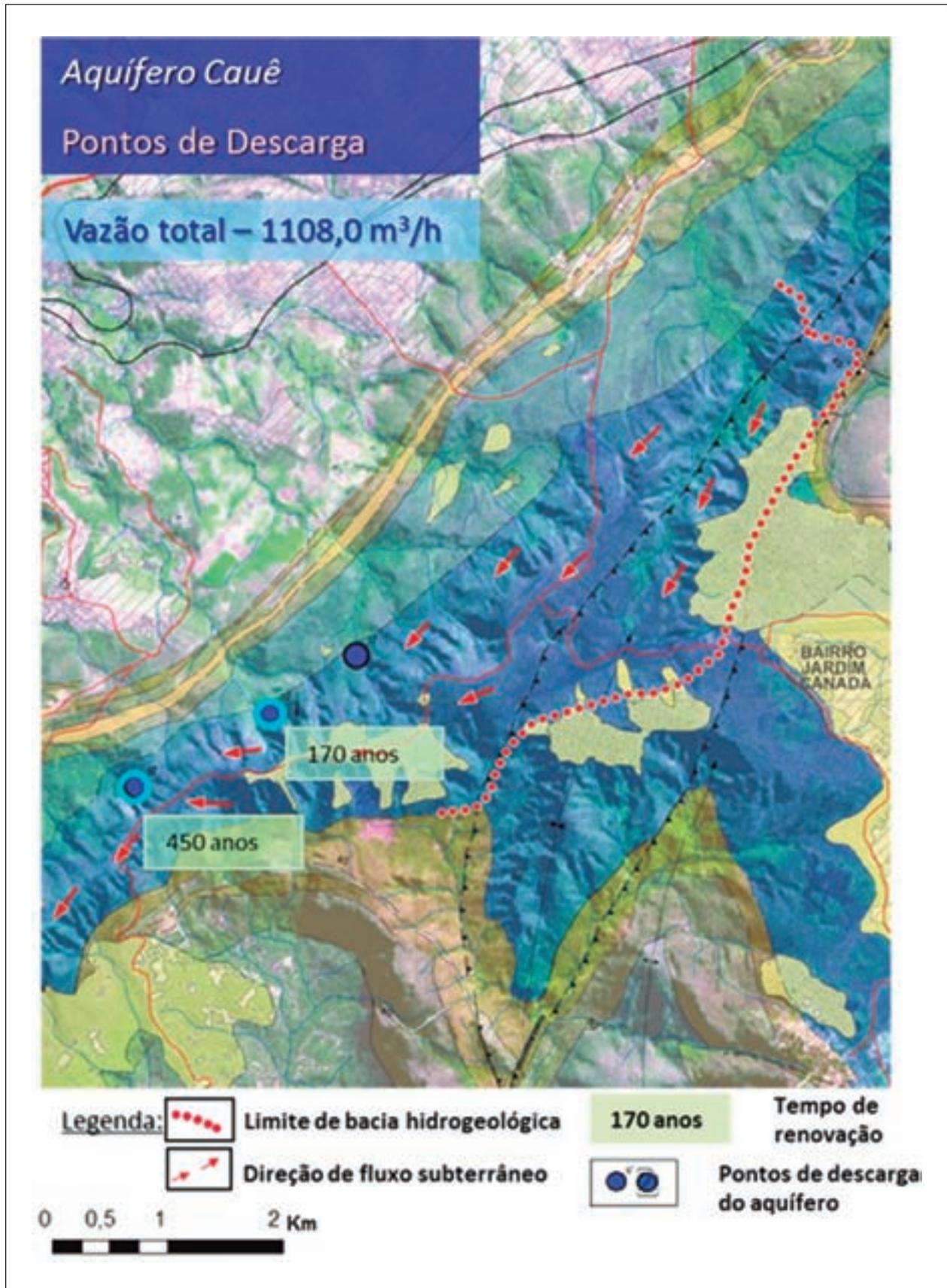


Figura 9 - Resultados de tempo de renovação e direção de fluxo subterrâneo do Aquífero Cauê, na Porção Central da Serra do Curral e norte da Serra da Moeda. Fonte: Mourão (2007).



Figura 10 - Resultados de tempo de renovação e direção de fluxo subterrâneo do Aquífero Cauê, em segmento Ocidental da Serra do Curral. Fonte: Mourão (2007).

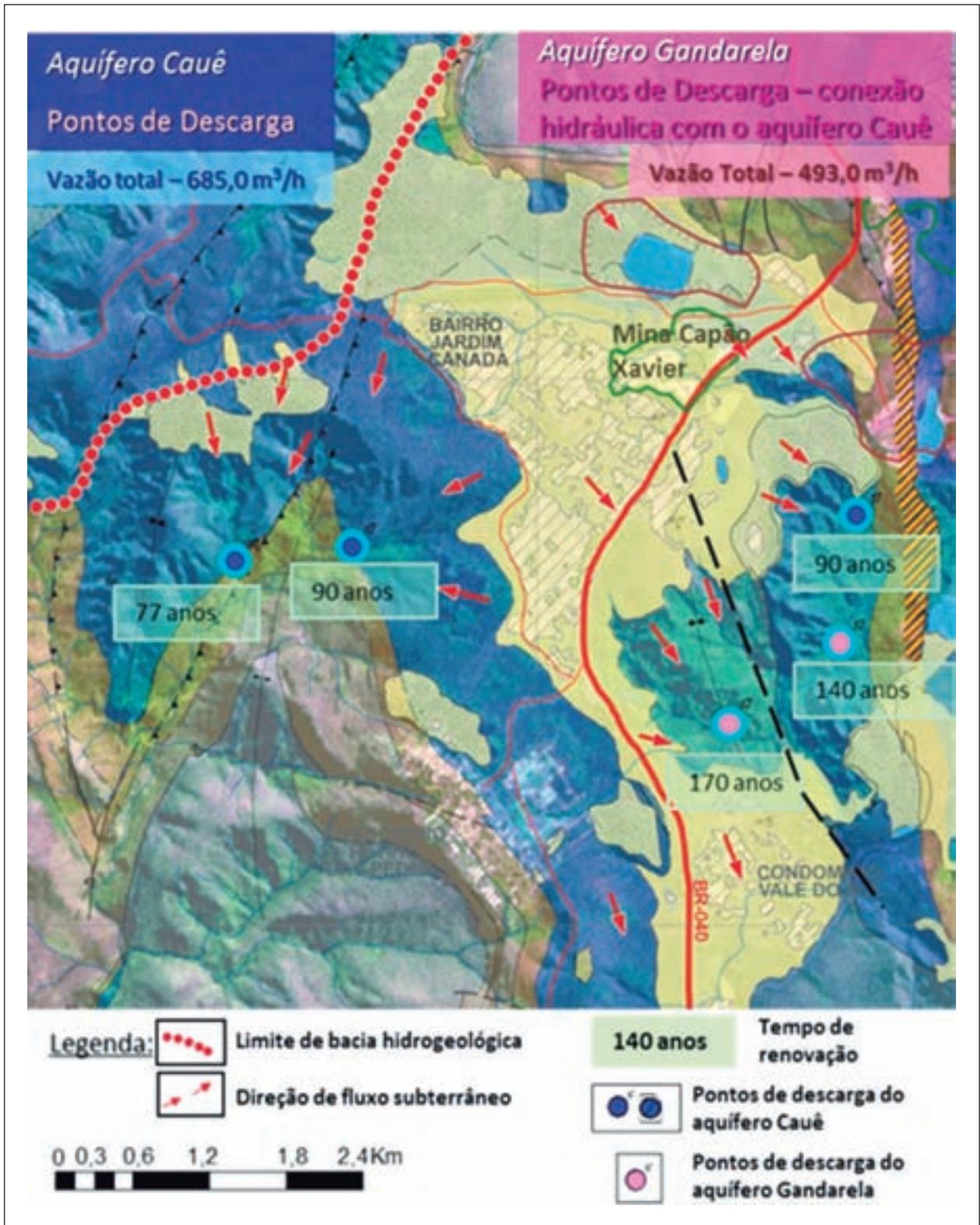


Figura 11 - Resultados de tempo de renovação e direção de fluxo subterrâneo do Aquífero Cauê, em segmento Setentrional da Serra da Moeda (Sinclinal Moeda). Fonte: Mourão (2007).

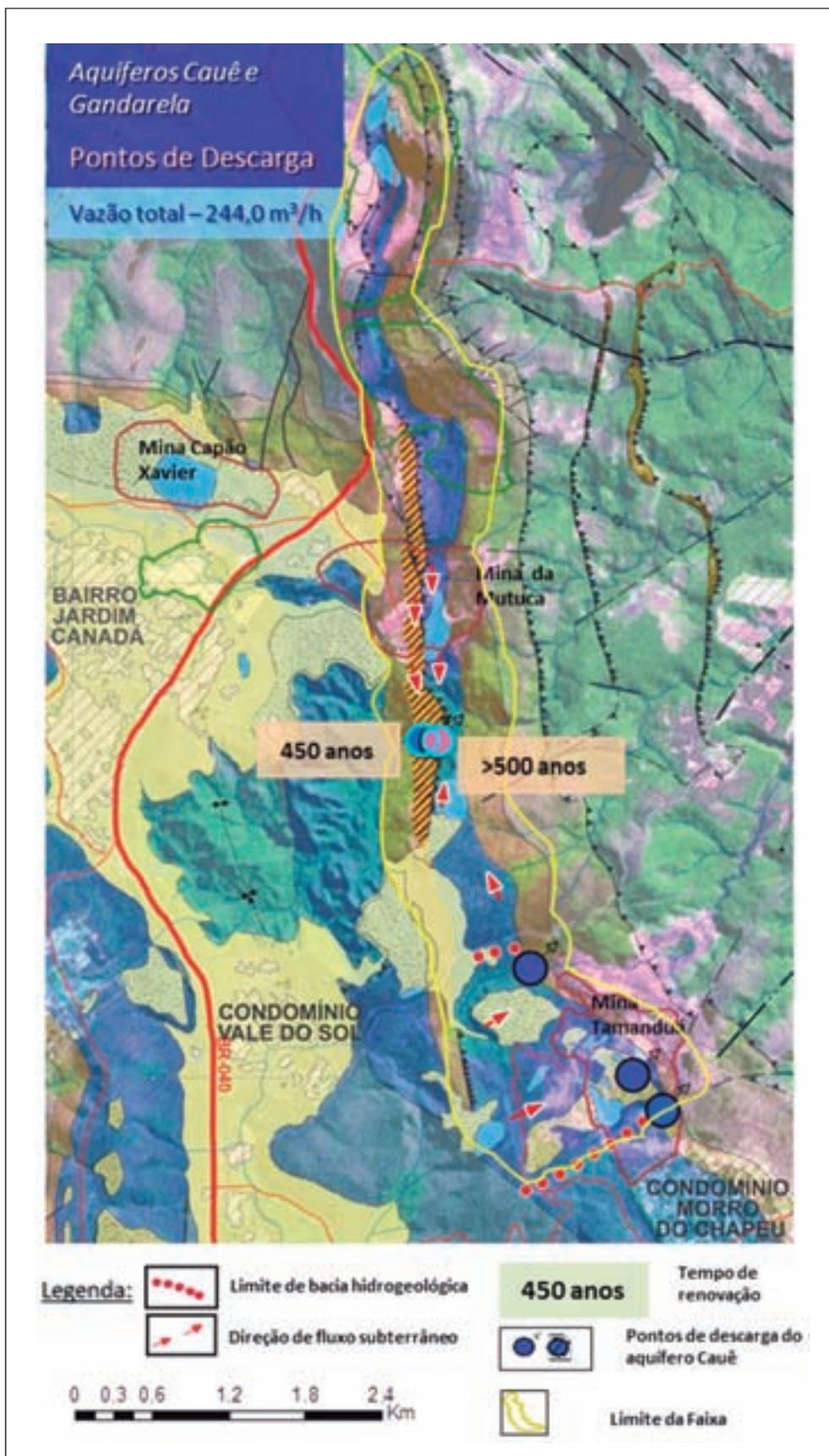


Figura 12 - Resultados de tempo de renovação e direção de fluxo subterrâneo do Aquífero Cauê, na Faixa Tamanduá / Mutuca da Serra da Moeda. Fonte: Mourão (2007).

Conclusões e sugestões

Os estudos hidrogeológicos para fins específicos, como rebaixamento do lençol freático, produção e envasamento de água, captação para tratamento e distribuição para população, interferências em recursos hídricos como depósitos de estéreis, barragens de rejeitos, barramentos para geração de energia e regulação de cheias, estão sujeitos a legislação específica e são de competência de organismos distintos, como o Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM, e, no caso de Minas Gerais, o Instituto Mineiro de Gestão de Águas - IGAM. Estes organismos deveriam atuar de forma articulada, tendo como base o PNRH – Plano Nacional de Recursos Hídricos. Existe pouca atenção por parte do poder público no que tange à proteção dos nossos cursos d'água com respeito ao lançamento de esgoto não tratado, contaminando assim nossas águas superficiais. Soma-se a isto o fato de que, no Brasil, a água é um bem mineral, enquanto em nações do Primeiro Mundo a água é um bem social. Possivelmente, o PNRH evolui para que nós, brasileiros, tenhamos a água como um bem social.

O PNAS – Programa Nacional de Águas Subterrâneas (MMA, 2009), que foi aprovado pelo CNRH, por meio da Resolução nº 99/2009, com três subprogramas: I) Ampliação do Conhecimento Hidrogeológico Básico - subdividido em três ações: estudos e projetos para aquíferos de abrangência transfronteiriças e interestadual; estudos e projetos em escala local; e o monitoramento quali-quantitativo das águas subterrâneas; II) Desenvolvimento dos Aspectos Institucionais e Legais - concebido com vistas à promoção da gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos e; III) Capacitação, Comunicação e Mobilização Social - prevê a inserção da temática das águas subterrâneas no desenvolvimento de capacidades proposto pelo Programa de Educação Ambiental, bem como a promoção de capacitação específica em águas subterrâneas. Em 2010, teve início a primeira revisão do PNRH, com o objetivo geral de priorizar ações para 2012-2015, e definir as estratégias para a sua implementação. Desse processo participativo chegou-se a 22 ações prioritárias, aprovadas pelo CNRH, por meio da Resolução nº135/2011. Muitas dessas prioridades possuem rebatimento nas águas subterrâneas, destacando a que trata da “Estruturação, ampliação e manutenção da rede hidrometeorológica e da rede hidrogeológica nacional” (MMA, 2011).

Finalmente, podemos concluir que a gestão de recursos hídricos no Brasil, e com ênfase nos sistemas geoferruginosos, necessita de uma ação específica e integrada entre a iniciativa privada e órgãos públicos. O objetivo deverá ser o de preservar e utilizar com responsabilidade civil, valendo-se de modelos hidrogeológicos consolidados através de monitoramento e modelagem numérica e, principalmente, da educação exaustiva da população sobre a importância do bem social água.

Agradecimentos

Agradecemos à pesquisadora Maria Antonieta Mourão, que contribuiu de forma construtiva na revisão deste capítulo. Agradecemos também a Flávio Leocádio pela contribuição retirada de sua dissertação de mestrado.

Referências Bibliográficas

Davis, E.G. 2005. *Uso e disponibilidade e recursos hídricos*. Belo Horizonte: Ministério de Minas e Energia. 64 p.

Gama, E.M. 2009. *GEOPROTEC – Relatório Modelo conceitual e Balanço Hídrico na Mina Pau Branco*.

Gama, E.M. 2013. *Curso de Geologia Aplicada e Hidrogeologia*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Departamento de Engenharia de Minas.

Leocádio, F.A. 2014. *Modelo hidrogeológico conceitual do maciço de filitos da Mina Pau Branco*. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto.

Mourão, M.A.A. 2007. *Caracterização hidrogeológica do Aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG*. Tese de Doutorado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Escola de Engenharia.

GEOESPELEOLOGIA EM ROCHAS FERRÍFERAS: CENÁRIO ATUAL E CONSERVAÇÃO

Luís B. Piló, Ataliba Coelho & José Carlos R. Reino

Introdução

Cavernas em rochas ferríferas, incluindo formações ferríferas, cangas e ferricretes, têm sido reportadas na literatura geológica desde o século XIX, principalmente no Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais (Pissis, 1842; Henwood, 1871). Mas foi em meados do século XX, diante da atuação dos geólogos do *United States Geological Survey* – USGS no Quadrilátero Ferrífero, que surgiram os estudos mais específicos sobre cavernas ferríferas, a exemplo de Guild (1957). Merecem destaque os estudos do geólogo americano George Simmons, que elaborou as primeiras ideias sobre a gênese dessas cavernas, além de revelar a mineralogia de espeleotemas fosfáticos (Simmons, 1963, 1964).

Na Amazônia, particularmente na Serra dos Carajás, no Pará, as primeiras referências às cavernas ferríferas são do início da década de 1970, através dos trabalhos de Tolbert *et al.* (1971) sobre as jazidas de minério de ferro recém-descobertas que, segundo o autor, continham grandes cavernas sob o manto de canga. Já na década de 1980, os estudos foram conduzidos por Pinheiro *et al.* (1988) e Pinheiro e Maurity (1988).

Até o início do século XXI, as cavernas ferríferas eram desconsideradas pela comunidade espeleológica nacional e tampouco eram notadas nos processos de licenciamento ambiental, pois sempre foram priorizadas as cavernas calcárias, maiores e com mais ornamentações. Acreditava-se que as rochas ferríferas tinham baixo potencial para ocorrência de cavernas. Poucas cavernas nesses litotipos constavam nos cadastros espeleológicos brasileiros. No entanto, com o advento da expansão da exploração do minério de ferro, a partir da primeira década do século XXI, em grande parte estimulada pela China em importante momento de consumo de recursos minerais essenciais à indústria de base e à construção civil, ocorreu uma mudança expressiva do cenário espeleológico brasileiro. Aliada a uma nova fase da legislação sobre as cavernas, estruturada através do Decreto Federal Nº 6.640 (07/11/2008) e pela Instrução Normativa Nº 2 do Ministério do Meio Ambiente - MMA (20/08/2009), amplos trabalhos foram elaborados dentro dos Estudos de Impacto Ambiental – EIA/RIMA. Centenas de prospecções espeleológicas foram e ainda estão sendo realizadas nos terrenos ferríferos, gerando dados físicos e biológicos surpreendentes. A espeleologia brasileira vive um *boom*, em grande parte decorrente da expansão da exploração do minério de ferro. O importante debate sobre a raridade dessas cavernas na abertura da mina de

ferro de Capão Xavier, no Quadrilátero Ferrífero, em 2003, foi o marco inicial desta mudança no cenário espeleológico em rochas ferríferas (Auler e Piló, 2003). Neste momento, em decorrência da queda acentuada do preço do minério de ferro, há um claro arrefecimento da atividade minerária e, conseqüentemente, dos estudos espeleológicos.

Responsáveis por mais de 90% da produção de minério de ferro do país, a Serra dos Carajás e o Quadrilátero Ferrífero têm revelado um grande número de cavernas (Figura 1). Apesar dos números oficiais serem menores, como será visto no final deste capítulo, estima-se que o número atual seja superior a 3.000, sendo aproximadamente 2.000 em Carajás e mais de 1.000 no Quadrilátero Ferrífero.

Há outras regiões de ocorrência de jazidas de minério de ferro, porém em menor escala. É o caso, por exemplo, da Serra do Espinhaço, que possui formações ferríferas principalmente ao longo de suas vertentes orientais, incluindo a região de Morro do Pilar, Conceição do Mato Dentro e Serro. Nessa região já foram registradas dezenas de cavernas em Itabirito. Destaca-se, ainda, a região de Caetité, na Bahia, também com ocorrência de cavernas, e a região de Porteirinha (Vale do Rio Peixe Bravo), no norte de Minas Gerais, onde já foram estudadas algumas cavernas, mas que guarda ainda bom potencial (Carmo *et al.*, 2011). Na Morraria de Urucum, no Mato Grosso do Sul, próximo ao município de Corumbá, também ocorrem jazidas de minério de ferro, mas o registro espeleológico ainda é escasso.

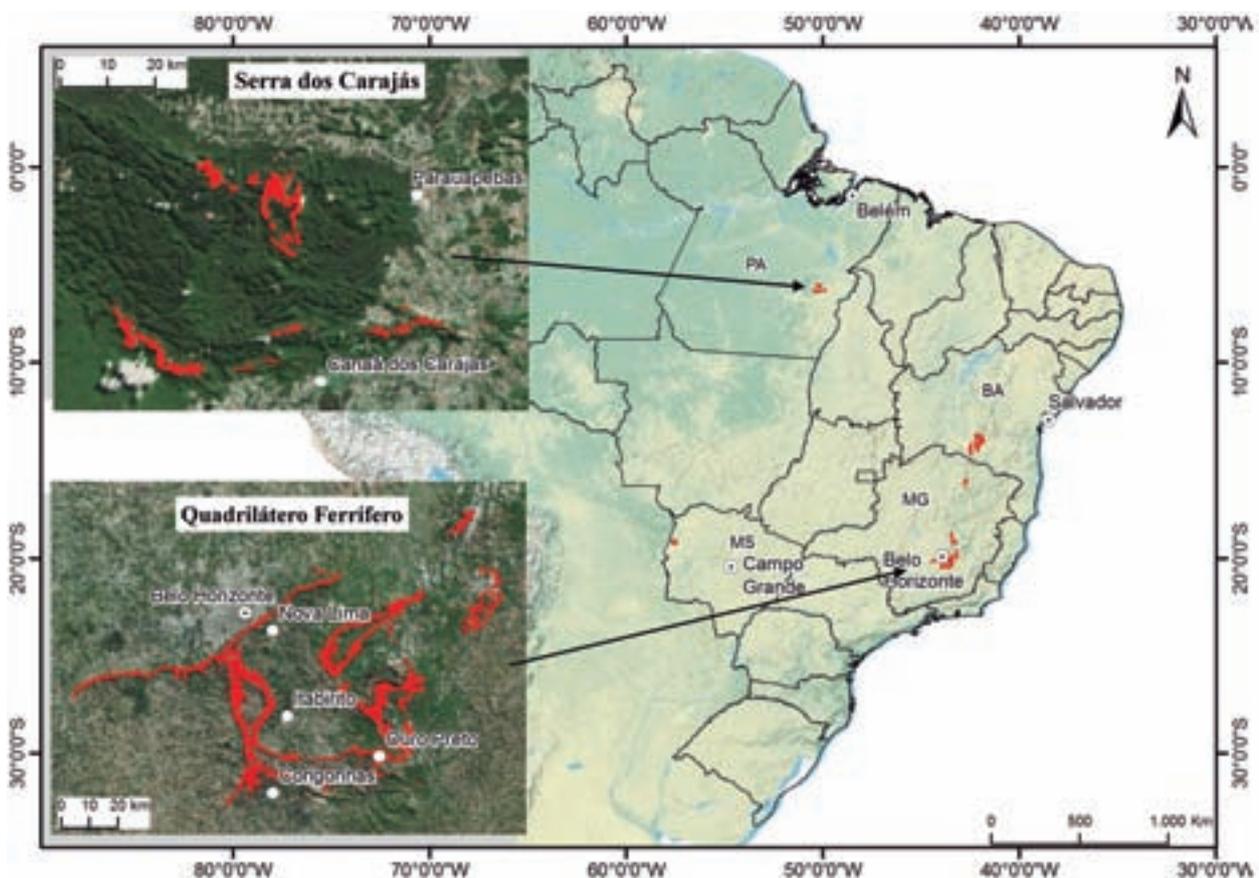


Figura 1 - Localização das principais jazidas de minério de ferro do Brasil. No destaque, as províncias mineraias da Serra dos Carajás, no sudeste do Pará, e do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais.

Atualmente, as regiões da Serra dos Carajás e do Quadrilátero Ferrífero compõem duas das mais importantes regiões espeleológicas brasileiras, atestando o grande potencial, antes desconhecido, das formações ferríferas e das coberturas de canga e de ferricrete para a formação de cavernas. Esse grande conjunto tem merecido, mais recentemente, diversos estudos geoespeleológicos, trazendo novas revelações para a espeleologia brasileira (Piló e Auler, 2005; Piló e Auler, 2009; Coelho, *et al.*, 2010; Piló e Auler, 2011; Carmo *et al.*, 2011; Dutra, 2013; Pereira, 2012; Calux, 2013; Parker *et al.*, 2013 e Auler *et al.*, 2014). Também tem trazido preocupações diante da necessidade de conservação de amostras representativas desses geossistemas, em decorrência da expansão da exploração mineral.

Neste capítulo foi focalizada, particularmente, a geoespeleologia em rochas ferríferas das duas principais regiões brasileiras: Serra dos Carajás e Quadrilátero Ferrífero. Complementarmente foram abordadas questões que envolvem certas dificuldades para conservação dessas cavernas e a necessidade de ampliação da conservação de áreas naturais desses geossistemas.

As cavernas ferríferas nos contextos geológico e geomorfológico

Na Província Mineral de Carajás se destaca a sequência metavulcanossedimentar neoarqueana do Grupo Grão Pará. Formações ferríferas bandadas, representadas por jaspilitos, compõem a denominada Formação Carajás, sobreposta e sotoposta por rochas máficas da Formação Parauapebas (Macambira, 2003). Os jaspilitos apresentam intercalações de bandas claras e escuras de espessura milimétrica a centimétrica de óxido de ferro e sílica (jaspe e chert). Encaixado nas camadas de jaspilito, ocorrem corpos de minério de ferro de alto teor (>64% Fe), gerados por enriquecimento do jaspilito, através de processos químicos, envolvendo fluidos hidrotermais (Lobato *et al.*, 2005). Um grande número de cavernas pode ser registrado no jaspilito mineralizado.

Sobre a formação ferrífera ocorrem amplas coberturas de brechas ferríferas, denominadas de canga, que funcionam como elemento de sustentação de topos do planalto dissecado, regionalmente representado pela Serra dos Carajás. Maurity e Kotschoubey (2005) denominaram essas coberturas de brechas hematíticas. Um grande número de cavernas também pode ser registrado na zona de contato entre a canga e a formação ferrífera, assim como exclusivamente no interior da canga.

Essas brechas apresentam duas origens principais. Podem ser produto da fragmentação em decorrência do colapso gravitacional do topo da formação ferrífera diante da exportação geoquímica da sílica e posterior cimentação dos clastos (seixos e calhaus) da formação ferrífera. Neste caso, o transporte é restrito e a matriz ferruginosa cimentante muito reduzida. Essas cangas podem conter mais 85% de Fe_2O_3 , além de SiO_2 , Al_2O_3 e P_2O_5 (Piló e Auler, 2011). Ocorrem também coberturas de brechas de origem tipicamente coluvionar, onde há um aumento da matriz ferruginosa e maior transporte dos clastos nas vertentes. Nessas brechas ferruginosas, situadas normalmente nas médias e baixas vertentes, há um aumento da participação da sílica e do alumínio, e diminuição do ferro (Piló e Auler, 2011).

Sobre essas coberturas de canga, particularmente no topo das serras, se destacam formações savânicas circundadas por uma exuberante Floresta Ombrófila. A vegetação savânica, de caráter xerófilo, representa um ecossistema singular na Amazônia, de reconhecido endemismo (Campos e Castilho, 2012). Já a fisionomia florestal representa o maior testemunho de floresta tropical preservado no sudeste da Amazônia.

Estruturalmente, a Serra dos Carajás representa um par sinformal-antiformal em forma de “S”, denominada Dobra Carajás (Lobato *et al.*, 2005), rompida pelo Sistema Transcorrente Carajás (Pinheiro, 1997), que dividiu a região nas serras Norte e Sul. Um conjunto de lineamentos descontínuos com direção geral E-W representa a principal estrutura, controlando rios, escarpas e cavernas.

Na região de Carajás destaca-se inicialmente o compartimento de topo das serras, sustentado pela formação ferrífera e pelas coberturas de canga. Trata-se do Planalto Dissecado do Sul do Pará (Boaventura, 1974). Essa superfície ondulada encontra-se posicionada acima de 700 m, podendo atingir até 800 m de altitude. É um domínio de topo peculiar, contendo morrotes, colinas, depressões fechadas, vales secos e ravinas. Essas formas são desenvolvidas, particularmente, sobre substrato rochoso (Figura 2).

Além da superfície de topo merecem destaque as bordas do planalto. Neste setor, a canga está sendo fragmentada, erodida. Diante disso, há uma melhora das condições edáficas, possibilitando o avanço da floresta tropical sobre a savana. Após as bordas superiores das serras ocorrem vertentes inclinadas irregulares, que se prolongam até o sopé das serras. Nessas vertentes também ocorrem, de forma mais localizada, pequenas escarpas ou pavimentos rochosos de canga, formação ferrífera ou rocha máfica alterada, onde também se destacam algumas cavernas. Uma cobertura de solos vermelhos cascalhentos suporta a Floresta Ombrófila nas médias vertentes. Surgências temporárias também foram registradas neste setor.

No sopé do planalto residual, por volta de 350 m de altitude, merecem atenção leques coluvionares cimentados, representados por brechas ferruginosas formadas por clastos de rochas mais diversificadas, incluindo rochas vulcânicas, metarenitos e quartzo, denominadas de ferricrete. Oito amostras de cavernas de ferricrete indicaram os seguintes valores médios: $Fe_2O_3=48\%$, $SiO_2=22\%$, $Al_2O_3=17,25\%$ e $P_2O_5=0,62\%$ (Piló e Auler, 2011). São formas terminais das serras, típicas áreas de preenchimento sedimentar, onde se desenvolvem cavernas associadas ao escoamento subsuperficial.

Em síntese, as cavernas se desenvolveram no interior das cangas, no interior da formação ferrífera ou no contato entre as duas, como também no ferricrete. As entradas dessas cavernas estão na base de pequenas escarpas distribuídas em diversas posições da paisagem, incluindo bordas de lagoas, rupturas da borda planáltica, médias e baixas vertentes com pavimentos e afloramentos rochosos de canga ou ferricrete.

No Quadrilátero Ferrífero merece destaque a unidade litoestratigráfica denominada Supergrupo Minas, de idade paleoproterozoica, composta por sequências plataformais que constituem os grupos Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará (Alkmim e Marshak, 1998). Entre esses, o Grupo Itabira é o que contém a sequência mais espessa de formação ferrífera bandada, representada na região pelos itabiritos da Formação Cauê.

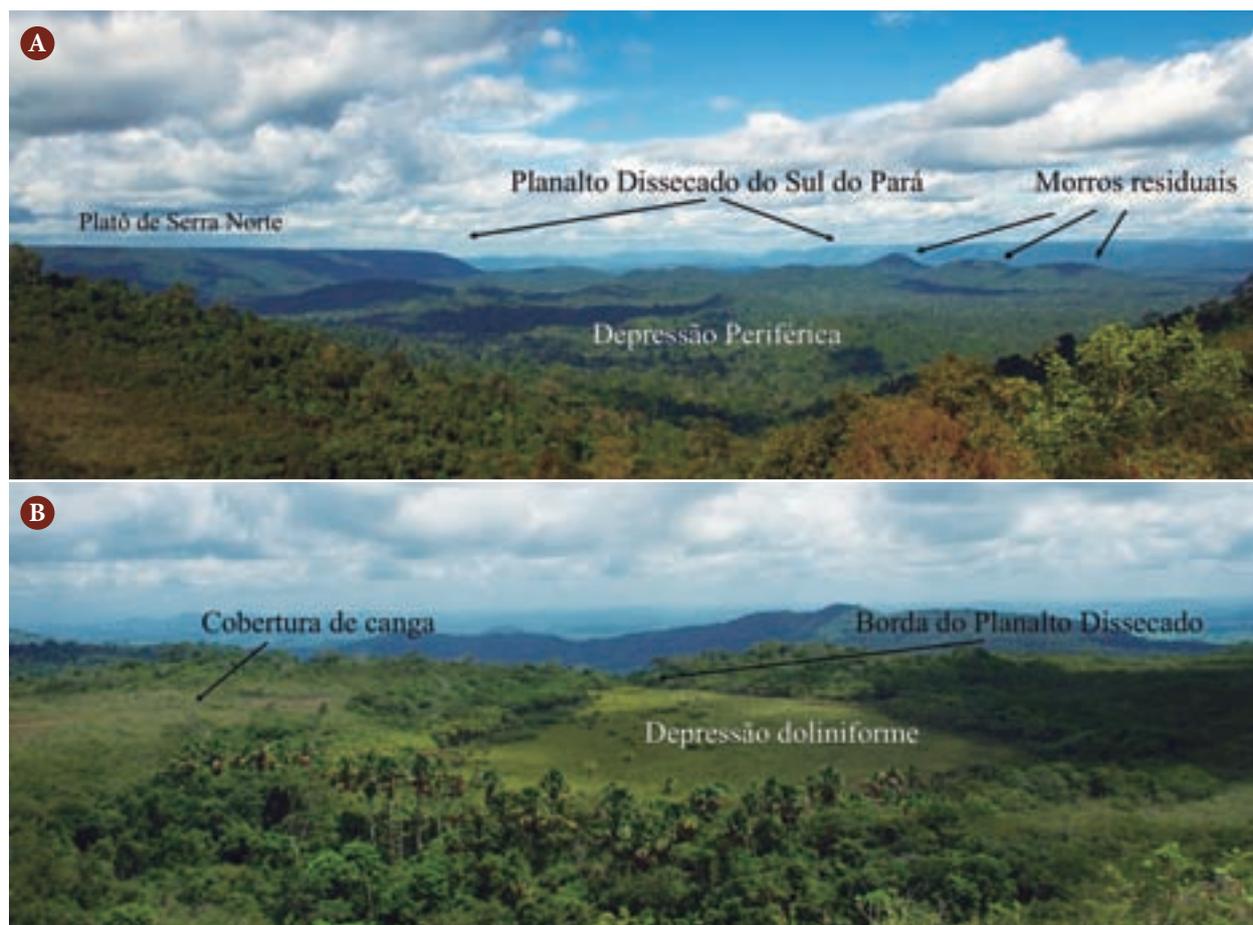


Figura 2 - (A) Vista da depressão periférica ao longo da falha de Carajás, com superfície rebaixada e morros residuais; ao fundo, planalto dissecado, representado pelas serras Norte e da Bocaina, onde afloram formações ferríferas e cangas. (B) Depressão fechada desenvolvida na canga nas proximidades da borda da Serra Sul. Destacam-se savana metalófila, campos brejosos e buritizal.

As diferenças composicionais associadas ao arranjo estrutural desses litotipos marcam de forma acentuada o movimentado relevo do Quadrilátero Ferrífero, onde antifomas e sinformas de sequências mais resistentes à erosão formam serras alinhadas, configurando o denominado “quadrilátero”. Essas serras contrastam com as áreas mais arrasadas dos complexos cristalinos e de rochas pelíticas. As diferenças altimétricas desses dois compartimentos podem chegar a algumas centenas de metros.

Estudos realizados por Salgado *et al.* (2007), baseados na confecção de modelo digital de terreno e na mensuração da produção de isótopos cosmogênicos ^{10}Be em escarpas e superfícies erosivas, demonstraram que os substratos quartzíticos, itabiríticos e de canga são extremamente resistentes ao rebaixamento vertical do relevo, com taxas de erosão de 1,71 e 2,58 m/Ma. Já os processos de recuo lateral das escarpas são mais expressivos, com taxas entre 12,71 e 14,60 m/Ma.

As linhas de cristas, que atingem geralmente 1.200 m de altitude (podendo excepcionalmente superar os 2.000 m) são, quando sustentadas por itabiritos, frequentemente recobertas por canga, que ocupam principalmente os topos e as altas vertentes das serras, com espessuras que podem atingir uma dezena de metros (Baltazar *et al.*, 2005) (Figura 3).

Estudos realizados por Monteiro *et al.* (2014) demonstram que as cangas do Quadrilátero Ferrífero registram uma história de dissolução e reprecipitação da goethita que começou há $48,1 \pm 4,8$ Ma (método U-Th/He) e continua de modo intermitente até o presente. Ou seja, existem cangas muito antigas. O estudo também revelou que mais de 30% das amostras analisadas apresentaram idades inferiores a 2 Ma, indicando também cangas do Quaternário.

Os terrenos ferruginosos do Quadrilátero Ferrífero encontram-se na zona de transição entre os Biomas Mata Atlântica e Cerrado, apresentando uma grande diversidade de fitofisionomias sobre os terrenos ferruginosos: Campo Rupestre Aberto ou Arbustivo, Capão Florestal, Campo Cerrado e Cerrado *Stricto Sensu* (Santos, 2013). Diante de análise de agrupamentos florísticos da região, Messias (2011) registrou a formação de grupos definidos pelas diferentes litologias e morfologias dos terrenos ferríferos, evidenciando que a geologia e as geoformas influenciam claramente a composição florística de campos rupestres ferruginosos. Comparadas com outros afloramentos rochosos, como os de quartzito, as cangas contribuem substancialmente para a diversidade da flora regional (Jacobi e Carmo, 2008).

No Quadrilátero Ferrífero, as cavernas estão mais restritas ao compartimento de cimeira (altas e médias vertentes), o que se deve ao próprio posicionamento altimétrico das formações ferríferas e das coberturas de canga na paisagem regional. No Quadrilátero Ferrífero ainda não foram registradas cavernas em ferricretes no sopé do planalto residual, como em Carajás. Conjuntos expressivos de cavernas ocupam, por exemplo, a faixa altimétrica entre 900 e 1.000 m na região de Santa Bárbara, enquanto que na Serra do Gandarela as maiores concentrações estão entre 1.400 e 1.600 m de altitude. As cavernas estão tanto no interior do itabirito, quanto na canga ou no contato entre os dois litotipos. Estudo realizado na região da Serra do Gandarela (Coelho *et al.*, 2010) demonstrou que a grande maioria das cavernas se posiciona nas bordas das coberturas de canga, local mais propício à existência de escarpas resultantes do recuo erosivo (Figura 3). Mas há também ocorrências no interior dessas coberturas, em pequenas rupturas lineares ou abatimentos de tetos de cavernas que expõem pequenas entradas.

As cavernas ferríferas

As cavernas ferríferas em geral são de pequenas dimensões, com média de projeção horizontal de 33 m em Carajás e, 22 m, no Quadrilátero Ferrífero. No entanto, já foram registradas cavernas com mais de 350 m na região de Carajás, como também em Conceição do Mato Dentro, em Minas Gerais. Uma caverna de ferricrete chegou a mais de 1,5 km de desenvolvimento na região de Carajás. Registros em cavernas ferríferas com essas dimensões ainda não são conhecidos em outras regiões do mundo.

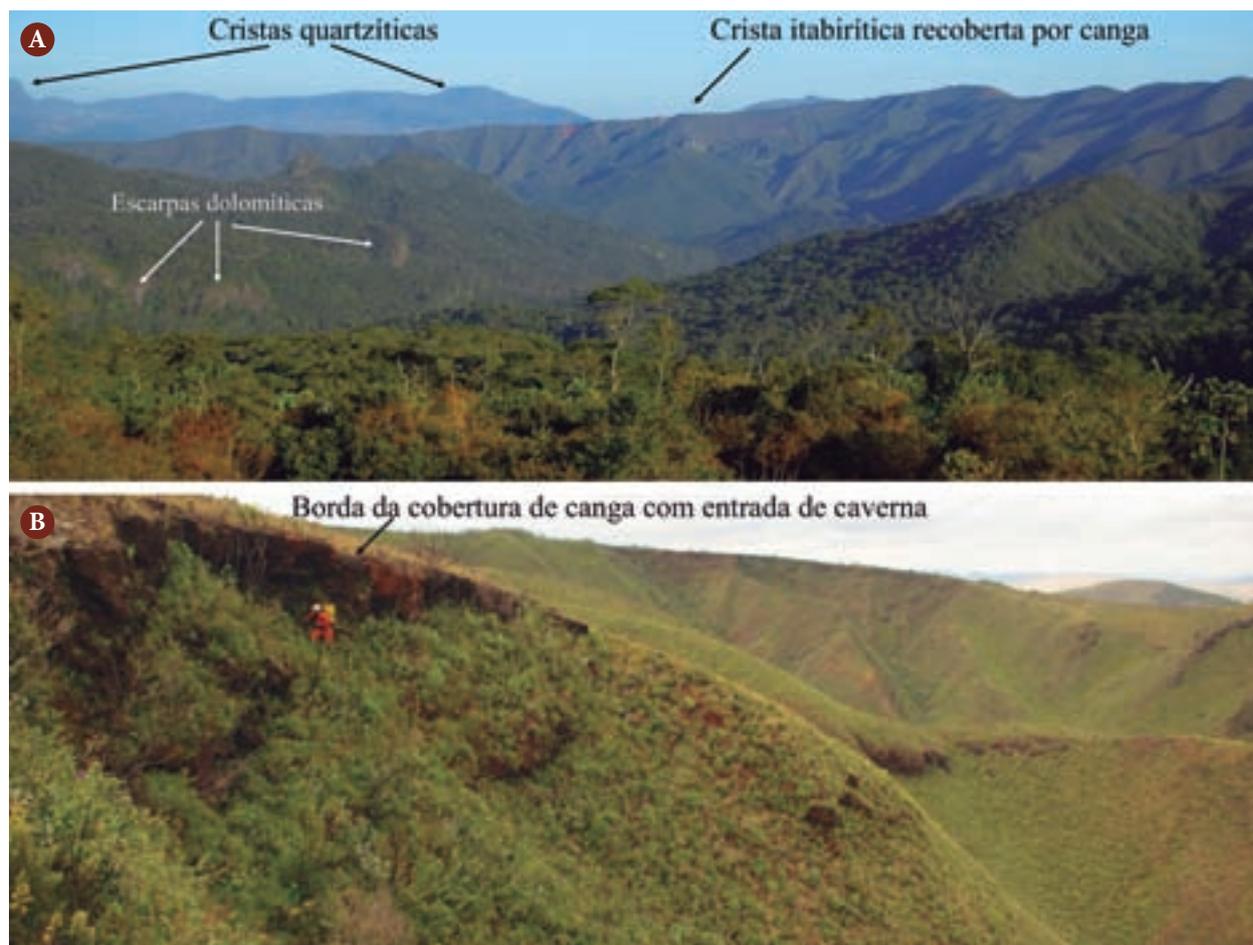


Figura 3 - (A) Sucessão de cristas e vales marcados por forte controle lito-estrutural, onde se destacam as cristas quartzíticas da Serra do Capanema, a superfície de canga sobre os itabiritos da borda sudeste do sinclinal Gandarela e as escarpas onde afloram dolomitos no interior do sinclinal. (B) Borda da cobertura de canga com entrada de caverna no flanco oeste da Serra da Moeda.

Predominam pequenos salões únicos, com apêndices que se afunilam em pequenos canais. Esboçam formas planimétricas muitas vezes disformes, mas é possível identificar planimetrias delineando formas semicirculares, bifurcadas, retangulares, afuniladas ou retilíneas. As maiores cavernas apresentam condutos muito irregulares, de tamanho variado, que se interconectam. A conexão entre câmaras maiores é feita, muitas vezes, por meio de passagens estreitas, sugerindo conexões tardias. As seções são muito irregulares (Figuras 4 e 5), com a presença de pilares, pendentes, canalículos e claraboias. As paredes e teto apresentam, muitas vezes, uma textura do tipo *spongework* (esponjosa), definida por Palmer (2009).

Controle estrutural de paredes e condutos ocorre particularmente nas cavernas desenvolvidas na formação ferrífera. Não há nas paredes e teto feições de origem hidrológica como *scallops*, *pockets* ou canais de teto. Esses macroporos não representam um sistema de condutos conectados, como no carste típico.

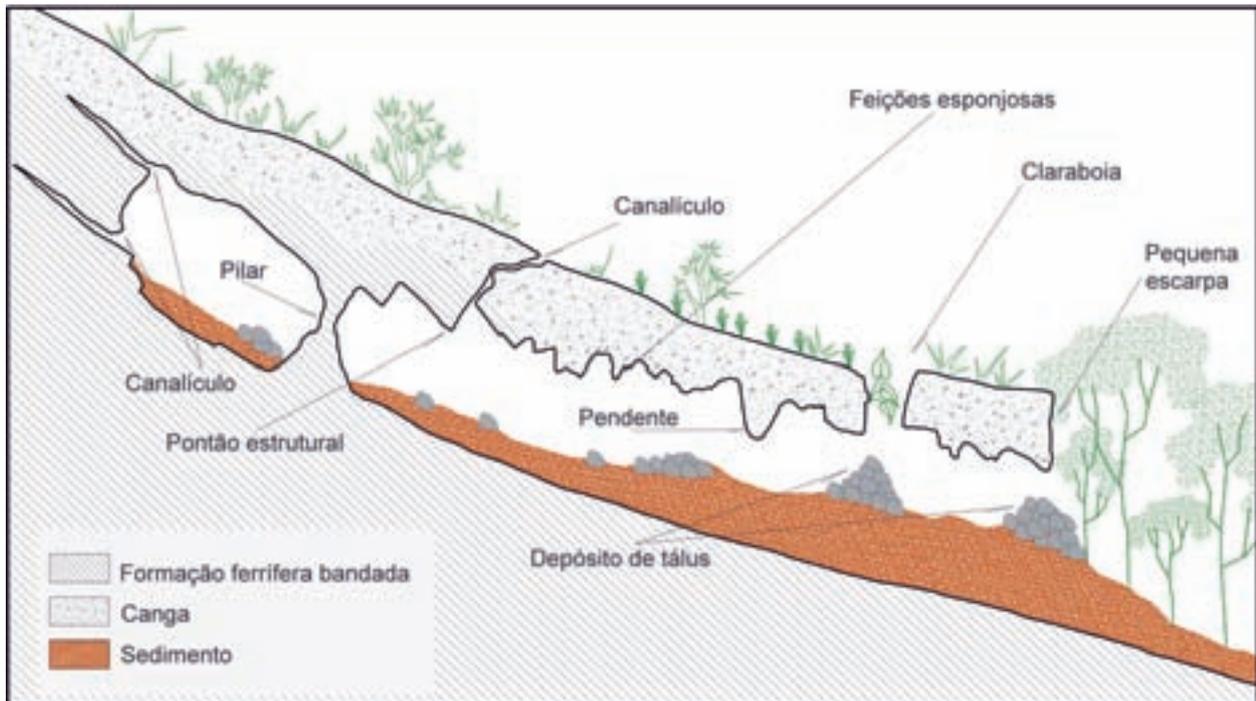


Figura 4 - Perfil síntese de uma caverna ferrífera com as principais feições morfológicas.



Figura 5 - Exemplo das feições internas de uma caverna ferrífera: câmaras de contorno irregular, com salões mais amplos conectados por passagens estreitas que indicam conexões tardias.

Os valores dimensionais (projeção horizontal - PH, área e volume) são maiores nas cavernas da região de Carajás, como pode ser observado na Figura 6. Os valores medianos das amostras reflete de modo claro o desvio da média gerado por grandes cavernas (*outliers*).

Os gráficos de valores individuais indicaram também que a região de Carajás apresenta maior variabilidade nos dados espeleométricos, a exemplo do volume das cavernas apresentado no gráfico da Figura 7. O clima e a intensidade dos processos de mineralização podem ter sido fatores importantes no maior desenvolvimento das cavernas de Carajás. Um escoamento subsuperficial mais intenso nas vertentes, por outro lado, pode ter proporcionado a maior conexão entre vazios isolados, ampliando as cavernas.

A grande maioria das cavernas é seca. Surgências, canais de drenagem e poças temporárias ocorrem, geradas pela concentração do gotejamento ou percolação de águas pluviais infiltradas via pequenos condutos ou descontinuidades geológicas. A maioria das cavernas está conectada ao sistema hidrológico das atuais vertentes, gerando um escoamento subsuperficial muito irregular. A percolação no interior das cavernas é expressiva durante a estação chuvosa, em função da porosidade da rocha e da proximidade das cavernas com a superfície. As cavernas ferríferas são em geral muito rasas. Merecem destaque algumas exceções, como é o caso da Lapa do Grotão, na borda leste do Espinhaço, sistema composto por duas cavernas ferríferas drenadas pelo Ribeirão das Lajes, com vazão estimada de 125 l/s (Figura 8).

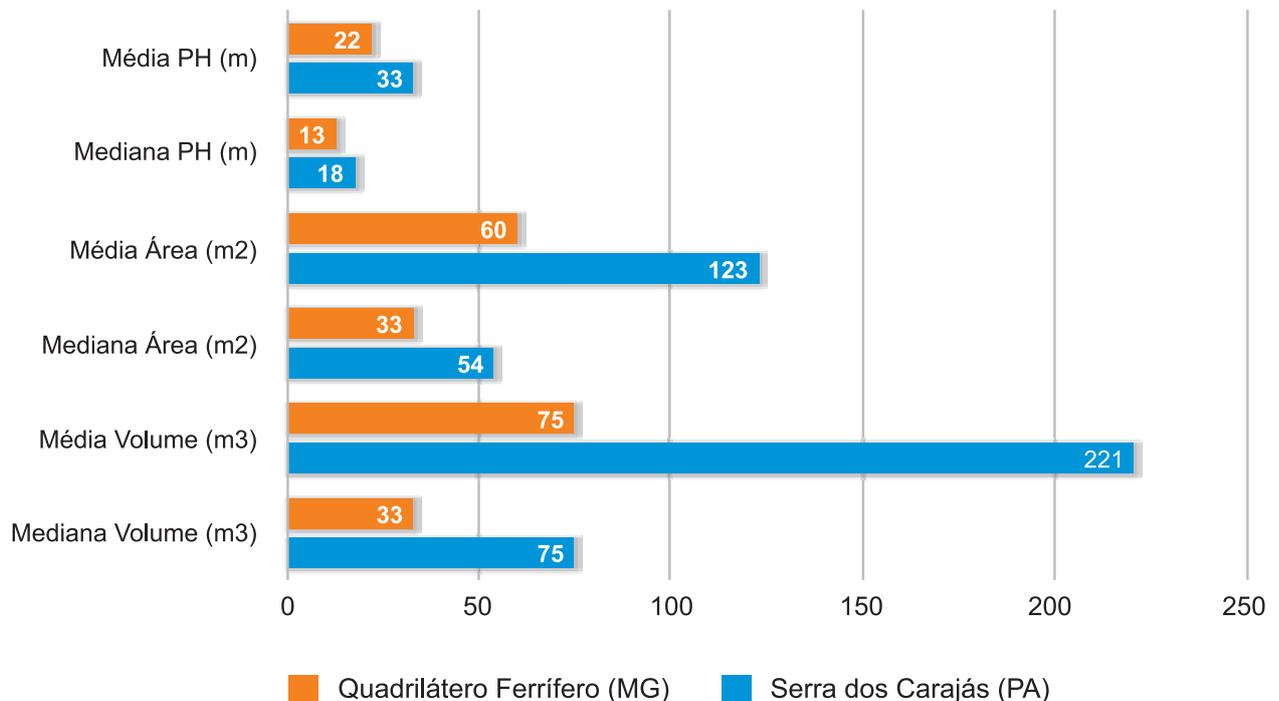


Figura 6 - Valores espeleométricos e comparativo da média e mediana das cavernas ferríferas da Serra dos Carajás (n=1.183) e Quadrilátero Ferrífero (n=558).

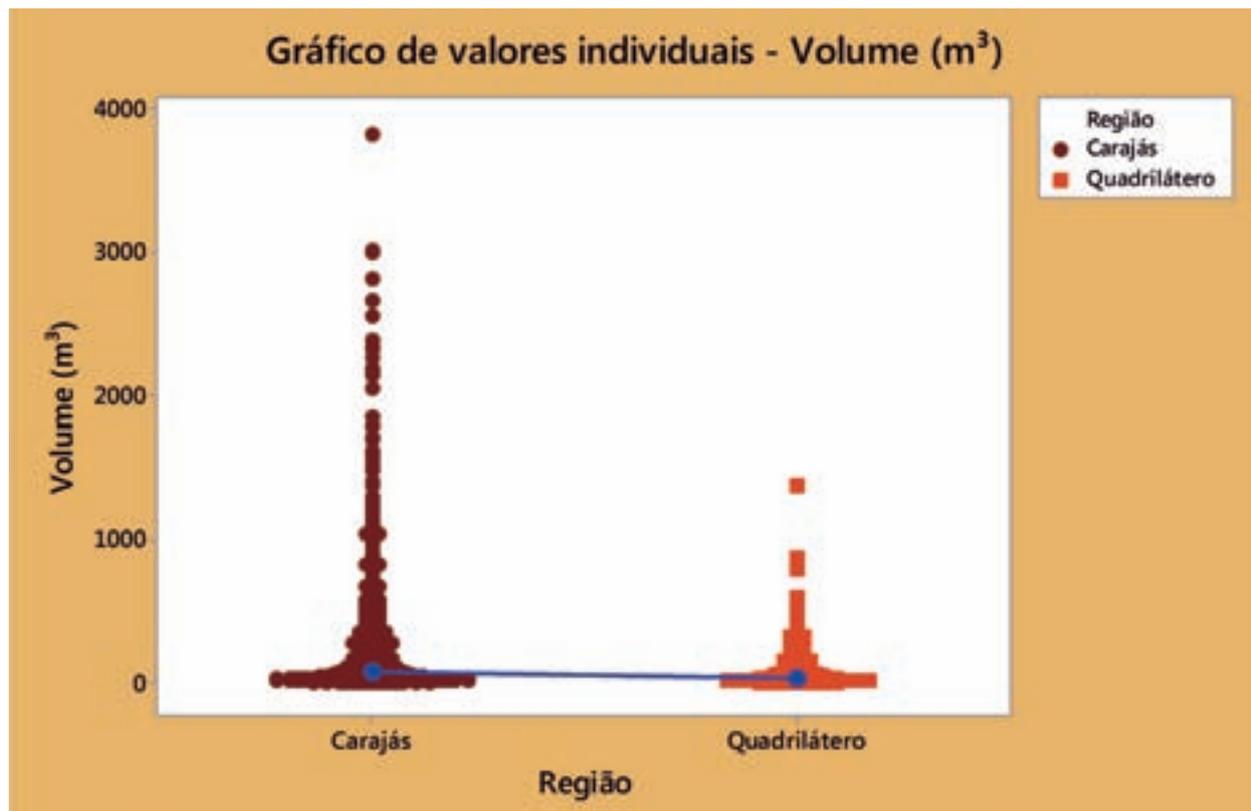


Figura 7 - Gráfico de valores individuais de volume das cavernas, indicando que a região de Carajás apresenta maior variabilidade dos dados. A linha que conecta as medianas dos valores de volume das duas regiões (pontos azuis) apresenta leve declive para a direita, indicando maior volume para as cavernas da Serra dos Carajás.

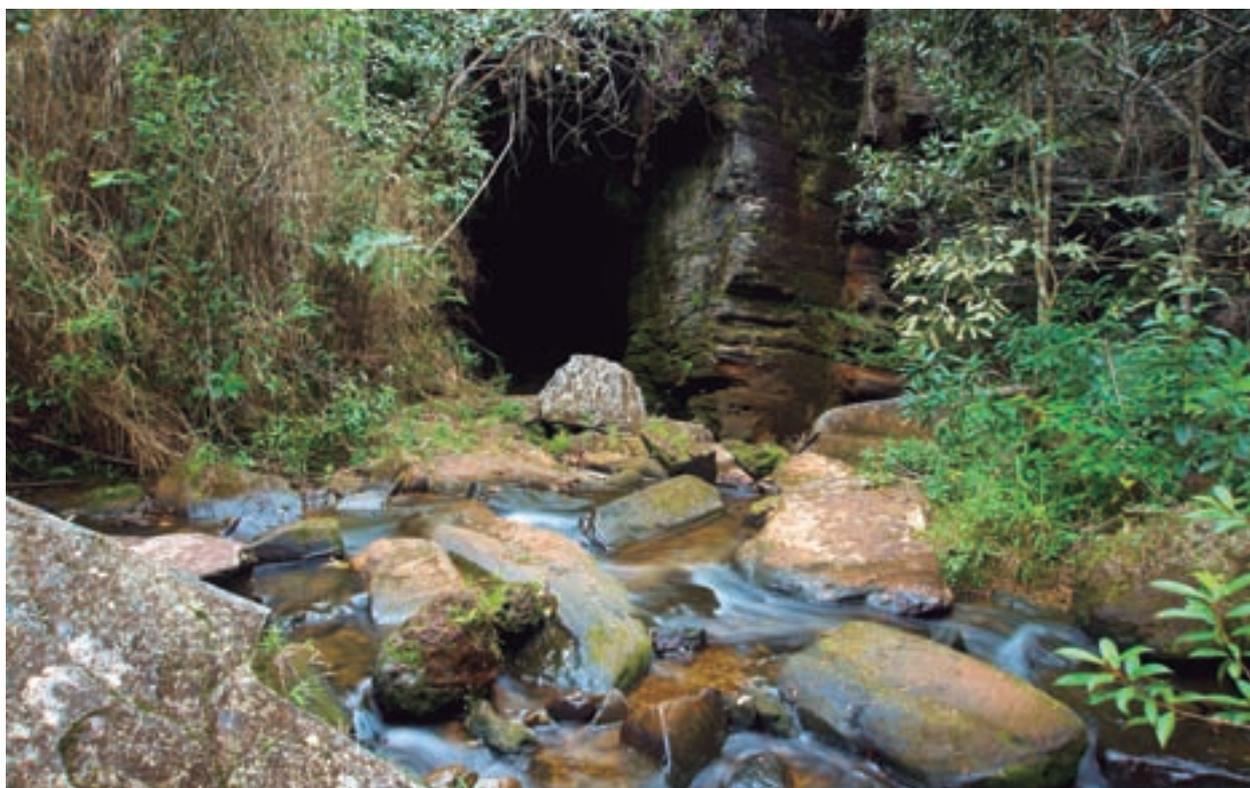


Figura 8 - Sumidouro do Ribeirão das Lages na estrada da Lapa do Grotão, na região de Morro do Pilar, em Minas Gerais.

Os depósitos clásticos são predominantemente autóctones, constituídos por clastos de hematita originados da formação ferrífera e das cangas e, por vezes, de rochas máficas alteradas, essas últimas principalmente na região de Carajás. Calhaus e matacões são gerados principalmente pelos movimentos de massa do tipo abatimentos de setores do teto e das paredes (Figura 9). Os depósitos apresentam uma estreita relação com a rocha encaixante, pois o transporte sedimentar é muito restrito no interior das cavernas, já que materiais móveis disponíveis sobre as cavernas são limitados. Os sedimentos alóctones, no geral, são menos expressivos. Ocorrem principalmente pela injeção de material na forma de cones (tálus) na entrada das cavernas e sob as claraboias. Os pacotes sedimentares das cavernas ferríferas são pouco espessos, inferiores a 1,5 m.

Nas cavernas ferríferas os depósitos químicos compreendem feições de pequeno porte, mas com diversidade mineralógica. Predominam crostas e coraloides (Figura 10), além de cortinas, microtravertinos e pingentes. Crostas de preenchimento de fraturas, escorrimentos de parede e pingentes são constituídos principalmente por óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (hematita, goethita e gibbsita), reforçando que os solutos que formam esses espeleotemas têm sua origem na rocha ferrífera. Os coraloides e as crostas de piso, paredes e sobre blocos são constituídos



Figura 9 - Matacões gerados por abatimentos do teto. Esse tipo de depósito clástico, de origem autóctone, é o mais recorrente nas cavernas ferríferas.

principalmente por óxidos e hidróxidos de ferro e fosfatos (estregita, fosfossiderita e leucofosfita). As origens de seus minerais constituintes estão associadas à rocha encaixante e, principalmente, ao guano de morcegos. Fosfatos formando estalactites, estalagmites e alguns tipos de coraloídes são de ocorrência rara na região de Carajás (Piló e Auler, 2011). Minerais fosfáticos registrados em espeleotemas de cavernas de Carajás, como sfeniscidita, hureaulita, rodolicoita e fosfoferrita ainda não tinham sido registrados em cavernas do mundo, de acordo com a bibliografia especializada consultada (Hill e Forti, 1997). Sulfatos também ocorrem, mas com uma diversidade menor, destacando-se gipsita, aluminita e alunita (Piló e Auler, 2011).

Gênese, evolução e idade das cavernas ferríferas

Simmons (1963), trabalhando no Quadrilátero Ferrífero, foi pioneiro em atribuir a gênese de cavernas em minério de ferro a processos de dissolução. Segundo ele, a dissolução do dolomito, mas também de quartzo e hematita, leva à formação de uma zona de minério de ferro alterado de alta porosidade que chega a atingir 50% do volume da rocha.

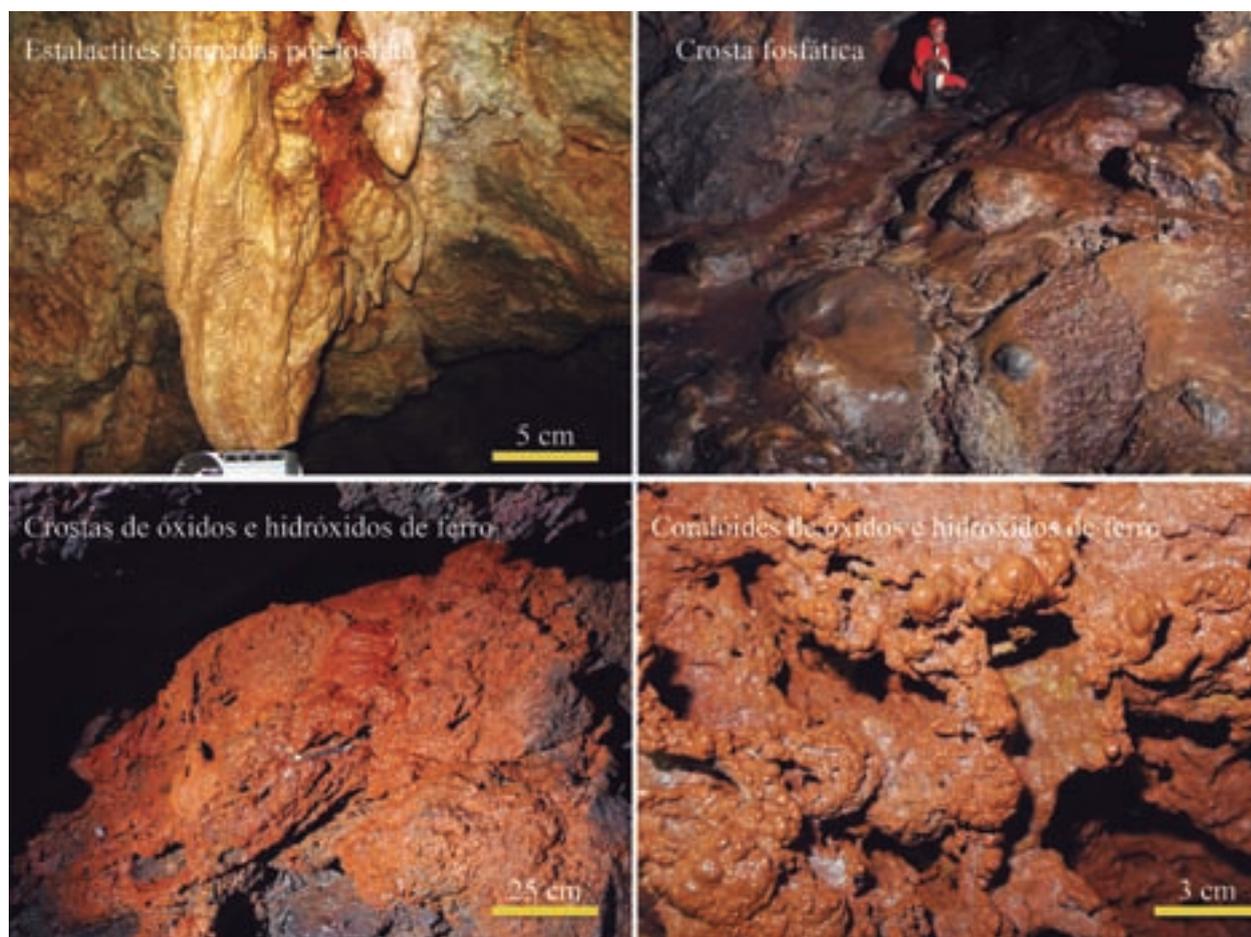


Figura 10 - Exemplos de depósitos químicos registrados em cavernas ferríferas.

Para Carajás, duas fases espeleogenéticas foram propostas por Pinheiro e Maurity (1988). Durante a primeira fase, inteiramente na zona freática, ocorreu a formação de complexos alumino-ferrosos e argilo-minerais instáveis de Fe, Al e Si que preencheram os vazios das brechas e da formação ferrífera. A remoção deste material residual instável levou à formação da porosidade. A segunda etapa, ainda na zona freática, envolve processos erosivos (*piping*) que basicamente expandem as cavidades. Esses processos erosivos serão intensificados quando a caverna passar a ser exposta à atuação de processos vadosos, propiciando também a atuação de processos de abatimento.

Alguns autores, como McFarlane e Twidale (1987), acreditam que a dissolução dos óxidos de ferro, e não somente de sílica e dolomita, são essenciais à “carstificação” em minério de ferro. Essas zonas, no saprólito, foram denominadas pelos referidos autores de “zonas pálidas” e dependeriam da lixiviação do ferro. Devido ao caráter pouco solúvel dos óxidos de ferro, esses autores evocam a atuação de agentes microbiológicos para a atuação na dissolução. Parker *et al.* (2013) têm investigado a participação das comunidades microbianas na gênese das cavernas de Carajás. Foi identificada intensa atividade microbiana e biofilmes pendentes (*snottites*) no interior das cavernas, que incluiu reconhecidas espécies nos processos de oxidação e redução do ferro. Com a redução do ferro, o fluxo de águas subterrâneas poderia remover massa de Fe (II) aquoso, permitindo o alargamento de vazios e formação de cavernas.

Auler *et al.* (2014) apresentaram dados novos, discutindo a geração de vazios em profundidade na formação ferrífera, que envolveria tanto ação biológica quanto química. Furos de sondagens geológicas registram com frequência a ocorrência de vazios isolados em diversas profundidades (abaixo da zona do intemperismo, na ordem de até algumas centenas de metros) do substrato rochoso. Diferentemente das cavernas de padrão esponjiforme definida por Palmer (2009), as cavernas profundas na formação ferrífera não apresentam conexões entre os poros na escala do substrato rochoso, constituindo macroporos isolados, muito irregulares, formados em ambiente de fluxo lento. As cavernas na formação ferrífera não constituem rotas de drenagem subterrânea, como nas cavidades carbonáticas. Segundo Auler *et al.* (2014), esses processos espeleogenéticos apresentam semelhanças com as cavernas hipogênicas, no sentido de que a porosidade da rocha inicial é gerada em profundidade, sem nenhuma influência de processos de superfície.

Posteriormente, em decorrência do recuo das vertentes, milhares desses macroporos, existentes próximos à superfície, se conectaram aos terrenos ferruginosos, ampliando as conexões com a dinâmica hidrológica das vertentes. Várias entradas de pequenas cavernas foram abertas neste processo evolutivo. A sedimentação foi intensificada com os movimentos de massa (abatimentos), gerando depósitos cascalhentos autóctones.

Piló e Auler (2009) têm-se referido às cavernas geradas na formação ferrífera de “mine-rogênicas”, ou seja, estariam associadas à mineralização da formação ferrífera. A maioria dos autores defende que o pré-enriquecimento das formações ferríferas, gerado por processos hidrotermais, onde a carbonatação é o mais importante, é necessário para a geração de grandes volumes de rocha friável (Spier *et al.*, 2003, Rosière e Rios, 2004). Este aspecto, associado à dissolução dos carbonatos, por sua vez, levaria ao desenvolvimento de feições cársticas em ambiente dominado pelas formações ferríferas.

No entanto, em Carajás, por exemplo, não é registrada a presença significativa de carbonatos substituindo as bandas de jaspe durante o processo hidrotermal/hipogênico. Em Carajás é possível registrar milhares de cavernas, algumas com grandes volumes, além de dezenas de depressões fechadas doliniformes. A lixiviação dos carbonatos substituídos (processos hipogênicos) no Quadrilátero Ferrífero, mas também da sílica e do jaspe, incluindo processos hipogênicos e supergênicos, foi fundamental para a expansão da porosidade e a formação das cavernas em Carajás e no Quadrilátero Ferrífero.

Esse modelo de ampliação da porosidade pela mineralização não se aplica diretamente à gênese de cavernas na canga. A zona de contato irregular entre a canga e o minério de ferro parece favorecer a espeleogênese de muitas cavernas. Estes locais de mudança textural e descon-tinuidades constituem pontos favoráveis para que os processos de dissolução e erosão ocorram.

Maurity & Kotschoubey (1995) apresentaram uma hipótese para explicar a existência de cavidades inteiramente inseridas na canga. Com a migração de Fe e Si para zonas mais baixas, a matriz argilosa da canga sofre dessilicificação com concomitante acumulação *in situ* de Al derivado da dissolução da caolinita. O resultado é a formação de um cimento hematítico e/ou gibbsítico envolvendo fragmentos lateríticos e hematíticos do conglomerado. Maurity & Kotschoubey (1995) consideram que este cimento, apesar de apresentar alta porosidade e suscetibilidade erosiva, é mais estável quimicamente que os fragmentos ou seixos hematíticos da canga. Os clastos, previamente transformados em produtos goethíticos friáveis, seriam preferencialmente atacados e eventualmente totalmente lixiviados, gerando uma porosidade macrocelular sustentada pela antiga matriz transformada em cimento. No entanto, registros efetuados em cavernas de Serra Sul demonstraram claramente que cavidades estão sendo geradas pelo ataque químico e mecânico na matriz ferruginosa.

Paleotocas têm sido identificadas na região de Carajás, testemunhando processos de bioerosão na formação ou ampliação de cavernas em brechas ferríferas. Destaca-se uma rede de passagens com seções circulares, ressaltando marcas de garras nas paredes e teto. Essas cavidades, muito provavelmente, foram utilizadas por megamamíferos (particularmente tatus) extintos, que habitavam a região de Carajás durante o Terciário e o Quaternário (Piló *et al.*, 2013). No Quadrilátero Ferrífero há, até o momento, um único registro de paleotoca, na Serra do Gandarela (Coelho *et al.*, 2010). Na região do vale do Rio Peixe Bravo, também foram registradas paleotocas (Carmo *et al.*, 2011). Estas ocorrências serão tratadas em capítulo específico deste livro.

Spier (2005) tem revelado intensos processos de intemperismo químico que atuaram nas formações ferríferas do Quadrilátero Ferrífero e permitiram a completa dissolução da dolomita e a formação de minerais de manganês a partir das formações ferríferas. Datações pelo método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ forneceram idades entre 61,5 Ma a 14,2 Ma, sugerindo uma longa história de intemperismo na região. No entanto, a maior parte dos óxidos de Mn precipitou no intervalo entre 51 e 41 Ma, com pico por volta de 46,7 Ma. Os dados cronológicos do referido autor também demonstram que o perfil de intemperismo das formações ferríferas já tinha atingido o atual estágio de desenvolvimento há cerca de 50 Ma. Esses dados indicam que a partir do Eoceno as formações ferríferas já apresentavam condições para a espeleogênese.

Monteiro *et al.* (2014), utilizando o método U-Th/He, datou diversas cangas no Quadrilátero Ferrífero. A canga mais antiga, localizada na Serra do Gandarela, registrou uma história de dissolução e reprecipitação da goethita que teve início há $48,1 \pm 4,8$ Ma, processo este que continua de modo intermitente até o presente. Mais recente, a canga datada na Serra da Moeda registrou uma idade de 15 Ma. Essas idades demonstram que existem cangas muito antigas do Cretáceo e cangas mais jovens do Quaternário, indicando que a partir também do Eoceno a canga já poderia encerrar cavernas.

Cadastro, legislação e conservação das cavernas ferríferas

A análise de cadastros espeleológicos existentes no Brasil permite compreender características interessantes da evolução dos registros de cavernas e a importância do incremento das prospecções em rochas ferríferas no contexto da espeleologia nacional.

O cadastro do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV) mostra um significativo acréscimo de cavidades ferríferas registradas entre os anos de 2005 e 2014 nos estados de Minas Gerais e Pará. Isso pode ser explicado pela profusão de estudos destinados ao licenciamento ambiental decorrentes, principalmente, da expansão da mineração de ferro, a partir de 2005, e mudanças efetuadas na legislação brasileira de proteção ao patrimônio espeleológico com o advento do Decreto Federal nº 6.640, em 2008. Portanto, a mineração tem sido a atividade responsável pelo maior número de registros de novas cavernas em rochas ferríferas no Brasil.

Enquanto as ocorrências no Pará somavam nove cavernas ferríferas em 2005, atualmente somam 1.394 cavernas, representando 87% das cavernas cadastradas no referido Estado. Em Minas Gerais, o crescimento também foi expressivo. Em 2005 apenas nove cavernas ferríferas estavam registradas nos dois principais inventários brasileiros da época (SBE e CODEX), o que significava 0,7% das cavernas inventariadas no Estado. Em 2014, as cavernas ferríferas somaram 739 ocorrências em Minas Gerais (Figura 11), subindo para 22% a participação no total do Estado, sendo que 87% dessas ocorrências foram reveladas pelos estudos efetuados no licenciamento ambiental. Portanto, faz-se necessária uma breve análise entre uso e conservação de cavidades ferríferas no Brasil.¹

Por meio do Decreto Federal Nº 6.640, de 2008, a legislação ambiental brasileira passou a prever a possibilidade de empreendimentos e atividades humanas ocasionarem impactos negativos irreversíveis em caverna classificada em grau de relevância alto, médio ou baixo, conforme metodologia estabelecida na Instrução Normativa MMA Nº 2 de 2009 e mediante licenciamento ambiental. As formas de compensação estabelecidas seguem regras graduais e proporcionais ao respectivo grau de relevância da cavidade. No caso de empreendimento que ocasione impacto

¹ Anterior à publicação do Decreto nº 6.640/2008, o arcabouço jurídico brasileiro indicava que as cavidades naturais subterrâneas deveriam ser preservadas e conservadas, com seu uso permitido somente dentro de condições que assegurem sua integridade física e a manutenção do respectivo equilíbrio ecológico.

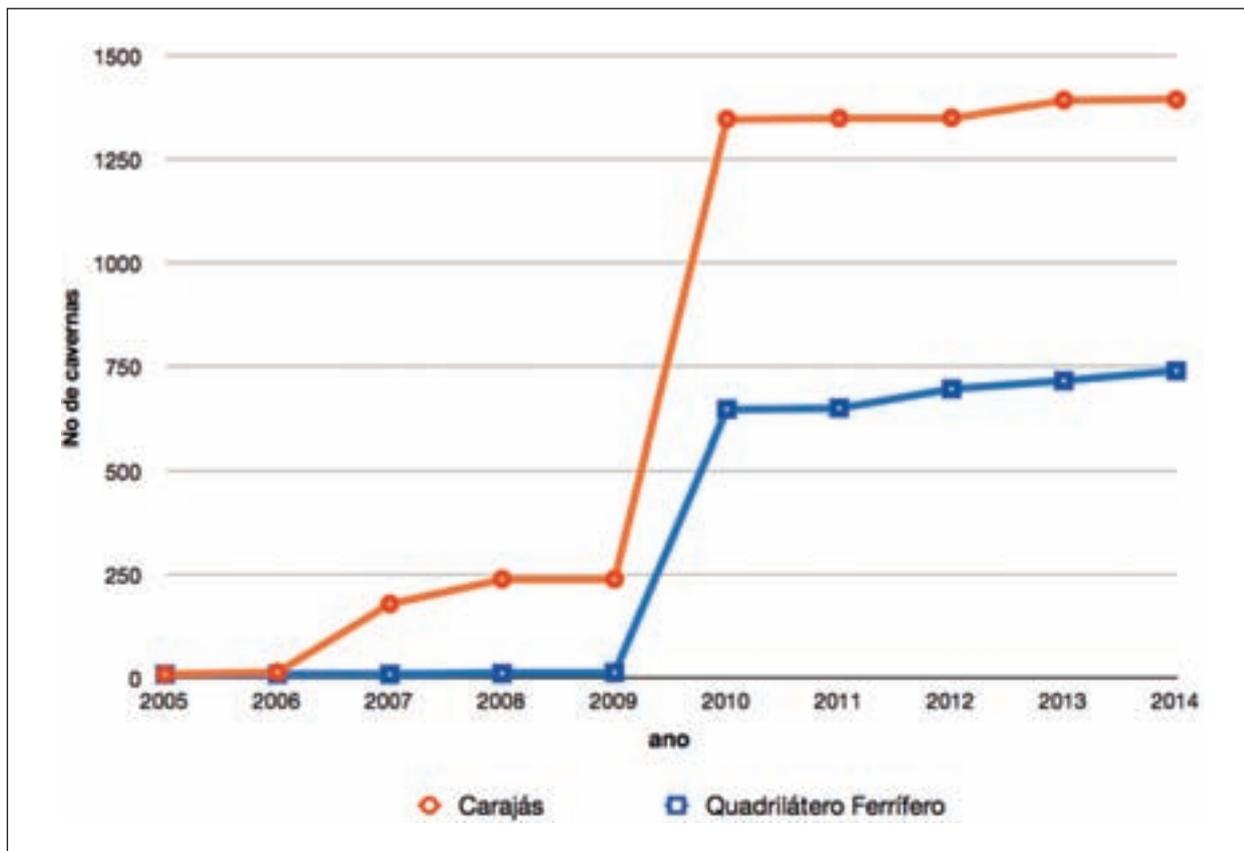


Figura 11 - Evolução do número de cavernas ferríferas cadastradas no Pará e em Minas Gerais entre 2005 e setembro de 2014 nos cadastros espeleológicos brasileiros. O pico do cadastramento em 2010, nos dois estados, reflete ação de mineradoras impulsionadas pelo Decreto Nº 6.640 de 2008, que previa um prazo para adequação da questão espeleológica dos empreendimentos já instalados. Fonte: CECAV, 2014.

negativo irreversível em cavidade natural subterrânea com grau de relevância alto, o Decreto Nº 6.640/2008 prevê, no seu artigo 4, parágrafo 3º, que não havendo na área do empreendimento outras cavidades representativas que possam ser preservadas sob a forma de cavidades testemunho, compete ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) definir, em comum acordo com o empreendedor, outras formas de compensação. O referido artigo visou a um tipo de compensação espeleológica excepcional.

Os principais argumentos observados em processos de licenciamento ambiental de empreendimentos minerários, em ambientes ferríferos, para justificar a impossibilidade de preservar cavidades testemunho² são: rigidez locacional da mineralização; áreas adjacentes requeridas por

² “No caso de empreendimento que ocasione impacto negativo irreversível em cavidade natural subterrânea com grau de relevância alto, o empreendedor deverá adotar, como condição para o licenciamento ambiental, medidas e ações para assegurar a preservação, em caráter permanente, de duas cavidades naturais subterrâneas, com o mesmo grau de relevância, de mesma litologia e com atributos similares à que sofreu o impacto, que serão consideradas cavidades testemunho” (art. 4º, § 1º, do Decreto nº 99.556/90).

terceiros junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM; viabilidade da jazida condicionada à exploração integral da ocorrência mineral; eventuais alterações no sequenciamento de lavra aprovado no Plano de Aproveitamento Econômico (PAE) podem trazer problemas legais; mudanças no planejamento mineiro, para garantir a preservação de cavidades testemunhos, podem gerar outros impactos ambientais e ausência de cavidades para compensação na área do empreendimento.

Em regiões com elevada densidade de polígonos minerários adjacentes, como é o caso do Quadrilátero Ferrífero, é reduzida a probabilidade de identificar cavidades testemunho fora da área do empreendimento que opte por impactar todas as cavidades de alto grau de relevância no respectivo polígono. Esse esforço na maximização da exploração do minério de ferro alicerça justificativas de impossibilidade de conservação de cavidades testemunhos e impulsiona o processo para uma compensação excepcional, muitas vezes direcionada para ambientes carbonáticos. É inegável que áreas de grande importância para conservação estão em processo de criação de unidades de conservação de proteção integral, a exemplo do carste de São Desidério, no Estado da Bahia. No entanto, a compensação em outra litologia cria um déficit para os geoambientes ferruginosos, particularmente no Quadrilátero Ferrífero. Na região de Carajás, diante das particularidades dos direitos minerários, concentrados em uma única empresa mineradora, há uma facilidade maior de compensar na relação duas cavernas testemunho para cada caverna impactada de forma irreversível.

Os procedimentos atribuídos ao ICMBio para tratar da compensação alternativa³ (I.N. Nº 30/2012, ICMBio) têm início depois de o órgão licenciador ter acatado a impossibilidade de cumprimento do art. 4º, § 1º, do Decreto Nº 6.640/2008. Dessa forma, resta ao ICMBio o desafio de assumir em sua análise técnica o grau de identidade ambiental considerado pelo licenciador no consentimento às justificativas da impossibilidade de preservar cavidades testemunho. Na prática, a compensação espeleológica tem sido tratada no último estágio do processo de regularização do empreendimento, emitidas as licenças ambientais e aprovado o plano de aproveitamento da jazida. Observa-se nos casos concretos, deficiência na articulação entre as instituições competentes, visando a conciliar a preservação de cavidades testemunho.

Um cenário centrado somente na valoração econômica da exploração do minério de ferro parece agora em transformação. Outros atributos importantes também têm sido revelados nos geoambientes ferríferos, incluindo importante diversidade florística (Jacobi e Carmo, 2008), reconhecido endemismo (Campos e Castilho, 2012), grande quantidade de cavernas com uma diversificada fauna de invertebrados com táxons novos (Pinto-da-Rocha e Andrade, 2012) e animais troglóbios (Pellegrini e Ferreira, 2011). Dados arqueológicos do interior das cavernas também

³ Instrução Normativa nº 30/2012. Estabelece procedimentos administrativos e técnicos para a execução de compensação espeleológica de que trata o art. 4º, § 3º, do Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, alterado pelo Decreto nº 6.640, de 7 de novembro de 2008, para empreendimentos que ocasionem impacto negativo irreversível em cavidade natural subterrânea classificada com grau de relevância alto e que não possuam na sua área, conforme análise do órgão licenciador, outras cavidades representativas que possam ser preservadas sob a forma de cavidades testemunho.

têm colaborado na construção da história da ocupação humana na Amazônia. Segundo Kipnis *et al.* (2005), com as idades já obtidas (mais de 9.000 anos Antes do Presente - AP), a região de Carajás já está incluída na discussão sobre a ocupação do homem na América. No Quadrilátero Ferrífero, Baeta e Piló (2005) também têm registrado a utilização de cavernas ferríferas pelo homem desde o período pré-colonial, há pelo menos 1.500 anos AP. Foram encontrados importantes testemunhos arqueológicos representados, sobretudo, por artefatos líticos e cerâmicos.

Até o momento são poucas as unidades de conservação federais especialmente criadas com o objetivo de proteger o Patrimônio Espeleológico (Cavalcanti *et al.*, 2013), a exemplo do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, no norte de Minas Gerais. Para avaliar a proteção das cavidades, têm-se considerado apenas aquelas localizadas dentro de unidades de proteção integral (Jansen, 2011). No Estado de Minas Gerais não há unidade de conservação de proteção integral sob jurisdição federal que abrigue cavernas em rochas ferríferas. Já nas esferas estadual e municipal, do total de 739 cavernas ferríferas cadastradas no CECAV em Minas Gerais, 122 (16,5%) estão localizadas em Unidades de Conservação de Proteção Integral (Tabela 1).

Tabela 1. Cavidades ferríferas protegidas em UC de Proteção Integral no Quadrilátero Ferrífero.

UC de Proteção Integral	Nº de cavidades
Estação Ecológica de Fechos	4
Monumento Natural Mãe D'Água	6
Monumento Natural Serra da Piedade	42
Monumento Natural Serra da Moeda	18
Parque Municipal das Mangabeiras	5
Parque Estadual da Serra do Rola Moça	38
Reserva Biológica Campos Rupestres de Moeda Sul	9
Total	122
Total de cavidades em formações ferríferas (MG)	739
Percentual protegido em UC de Proteção Integral	16,50%

Fonte: CECAV (2014).

Na região de Carajás, ressalta-se que importante área contígua à Floresta Nacional de Carajás - FLONA está sendo adquirida para incorporação ao mosaico de áreas protegidas da região. Trata-se da Serra da Bocaina (Figura 12), que acolhe mais de 230 cavernas ferríferas, as quais estão em processo de negociação junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA no sentido de serem destinadas a testemunho no processo de compensação espeleológica de grandes projetos minerários dentro da FLONA. A Serra da Bocaina se tornará, em curto prazo, a principal área contínua de conservação efetiva de cavernas ferríferas do Brasil (Piló *et al.* 2014).

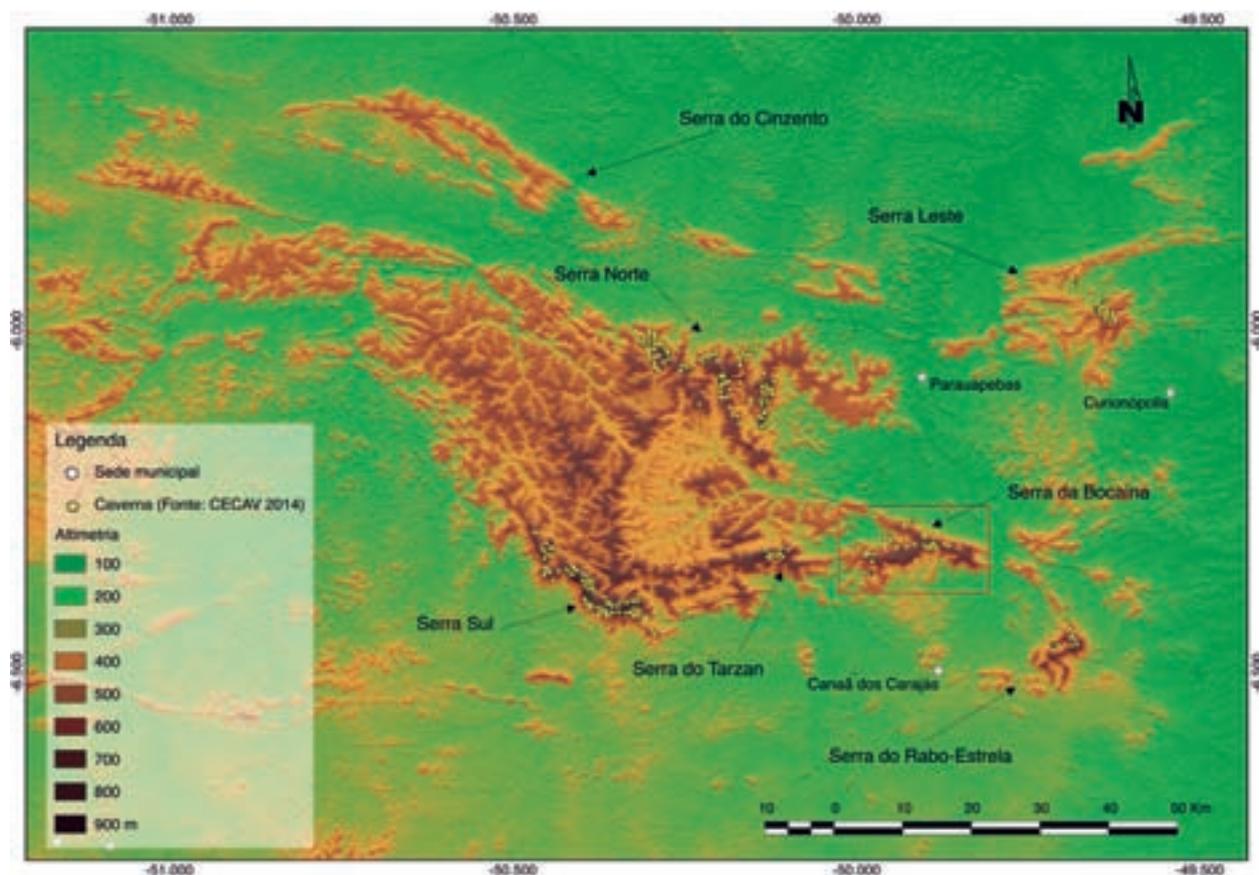


Figura 12 - Mapa hipsométrico da região de Carajás, no sudeste do Pará, com destaque para a Serra da Bocaina (retângulo vermelho), que aloja mais de 230 cavernas ferríferas e encontra-se em processo de criação de unidade de conservação.

Conclusões

As primeiras referências sobre as cavernas ferríferas são do século XIX, no Quadrilátero Ferrífero. No entanto, os primeiros trabalhos específicos sobre essas cavernas foram apresentados a partir dos estudos dos geólogos do Serviço Geológico dos Estados Unidos, na década de 1960. Na Amazônia, os estudos tiveram início mais tarde, na década de 1980, diante dos trabalhos do Grupo Espeológico Paraense - GEP. Até o início do século XXI, as cavernas ferríferas não eram estudadas na espeleologia brasileira.

Todavia, dois fatores foram decisivos para mudar esse cenário. O aquecimento da demanda do minério de ferro, particularmente impulsionada pela China, e o novo ciclo da legislação sobre o Patrimônio Espeológico Brasileiro. A partir de 2005, foram iniciados grandes levantamentos espeológicos, particularmente na Serra dos Carajás e no Quadrilátero Ferrífero, agregados aos Estudos de Impacto Ambiental. Esses estudos intensificaram sobremaneira a prospecção espeológica. Em dez anos, mais de 2.000 cavernas foram cadastradas, representando cerca de 18% das cavernas brasileiras registradas até o momento.

As cavernas na Serra dos Carajás e no Quadrilátero Ferrífero se caracterizam por pequenos salões únicos de planimetria muito irregular, com apêndices que se afunilam em pequenos canais que se interpenetram no substrato ferrífero. As maiores cavernas apresentam condutos muito irregulares, de tamanho variado, que se interconectam através de condutos mais estreitos, sugerindo conexões tardias. Os depósitos clásticos, constituídos por clastos de hematita originados da formação ferrífera e das cangas, são predominantemente autogênicos, gerados por movimentos de massa. O transporte sedimentar nessas cavernas é muito restrito e os sedimentos alogênicos limitados.

Os espeleotemas apresentam menor diversidade em comparação com as cavernas carbonáticas. Destacam-se principalmente crostas e coraloídes, que demonstraram diversidade mineralógica importante, incluindo óxidos e hidróxidos de ferro, além de fosfatos e sulfatos. Minerais e espeleotemas ainda não identificados em outras cavernas do mundo já foram registrados, principalmente em Carajás.

Processos espeleogenéticos das cavernas, incluindo bioespeleogênese, estão sendo revelados pela primeira vez no Brasil. Para a expansão da porosidade e formação das cavernas, os processos de lixiviação dos carbonatos substituídos, mas também da sílica primária, incluindo processos hipogênicos e supergênicos, foi decisiva. Essas cavidades se encontram em grande profusão em todo o substrato rochoso. Esses macroporos, quando na zona principal do intemperismo, acabam conectando-se com a superfície e com o sistema de escoamento pluvial das vertentes. Nessa fase, os processos de abatimentos são intensificados e as conexões entre vazios ampliadas.

Paleotocas têm sido identificadas em Carajás e no Quadrilátero Ferrífero, sendo os primeiros registros das regiões Sudeste e Norte do Brasil. Destacam-se processos de bioerosão na formação ou ampliação de cavernas em cangas com predomínio de matriz argilosa ou em ferricrete.

A preservação de cavidades testemunho deve ser prioridade para a compensação espeleológica nos geossistemas ferríferos, tendo como princípio a equivalência entre as perdas decorrentes do dano ambiental e a conservação de cavernas e do seu ambiente original. A inversão desse princípio pela predominância da utilização do preceito legal “outras formas de compensação” deve ser evitada ao máximo no licenciamento ambiental, e somente justificável caso demonstrada em concreto a impossibilidade de manutenção de cavidades testemunho. Esses testemunhos devem ser identificados e planejados na forma de áreas contínuas, visando o intercâmbio de processos físicos e biológicos entre os componentes dessa paisagem tão peculiar, onde se destacam centenas de cavernas.

Referências Bibliográficas

- Alkmim, F.F. & Marshak, S. 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90: 29-58.
- Auler, A. & Piló, L.B. 2003. *Parecer espeleológico sobre uma cavidade subterrânea na área da futura mina Capão Xavier (Processo COPAM Nº 95/1998/001/1998)*, Nova Lima, Minas Gerais. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, Gerência Minas Gerais. 15 p.
- Auler, A.; Piló, L.B.; Parker, C.W.; Senko, J.M.; Sasowsky I.D. & Barton, H.A. 2014. Hypogene cave patterns in iron ore caves: convergence of forms or processes? *Karst Waters Institute. Special Publication*, 18: 15-19.
- Baeta, A.; Piló, H. 2005. Arqueologia do Quadrilátero Ferrífero: aspectos preliminares sobre sua ocupação – Estudo de Caso do Capão Xavier. *O Carste*, 3 (17): 116-131.
- Baltazar, O.F.; Baars F.J.; Lobato, L.M.; Reis, L.B.; Achtschin, A.B.; Berni, G.V. & Silveira, V.D. 2005. Mapa Geológico com nota explicativa em escala 1:50.000. In: *Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero – Integração e Correção Cartográfica em SIG*.
- Boaventura, R.S. 1974. Geomorfologia da Folha Tocantins. In: Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto Radam, Folha SB.22 Araguaia e parte da folha SC.22 Tocantins: *geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra*. Rio de Janeiro.
- Brasil. Decreto n. 99556, de 1º de outubro de 1990. Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2 de outubro de 1990, Seção 1, p. 18836.
- Brasil. Decreto n. 6.640, de 7 de novembro de 2008. Dá nova redação aos arts. 1º, 2º, 3º, 4º e 5º e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto no 99.556, de 1º de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional.
- Brasil. Instrução Normativa Nº 30, de 19 de setembro de 2012. Estabelece procedimentos administrativos e técnicos para a execução de compensação espeleológica de que trata o art. 4º, § 3º, do Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, alterado pelo Decreto nº 6.640, de 7 de novembro de 2008. Instituto Chico Mendes de Conservação da Natureza – ICMBio. Diário Oficial da União, Brasília, 21 de setembro de 2012, Seção 1, p. 74.
- Calux, A.S. 2013. *Gênese e desenvolvimento de cavidades naturais subterrâneas em rochas ferríferas no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Geociências. 220 p.
- Campos, J. & Castilho, A.F. 2012. Uma visão geográfica da Região de Carajás. In: Martins, F.D.; Castilho, A.F.; Campos, J.; Hatano, F.M. & Rolim, S.G. (orgs.). *Fauna da Floresta de Carajás: estudos sobre vertebrados terrestres*. São Paulo: Nitro Imagens.
- Carmo, F.F.; Salgado, A.A.R.; Jacobi, C.M. 2011. Novo sítio espeleológico em sistemas ferruginosos, no Vale do Rio Peixe Bravo, norte de Minas Gerais, Brasil. *Espeleo-Tema*, 22: 25-39.

Cavalcanti, L.F.; Costa Neto, J.F.; Ribeiro, A.; Lima, M.F.; Medeiros, R.C.S. & Meguerditchian, I. 2013. A situação atual do Patrimônio Espeleológico Brasileiro – dados preliminares. Congresso Brasileiro de Espeleologia, 32. Barreiras. SBE. *Anais...*

Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas - CECAV. 2014. *Base de dados geoespacializados das cavernas do Brasil*. Brasília: CECAV/Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2013. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/downloads/mapas.html>. Acesso em: 20 ago. 2014.

Coelho, A.; Piló L.B.; Auler, A. & Bessi, R. 2010. Espeleologia da área do Projeto Apolo, Quadrilátero Ferrífero, MG. *Carste Consultores Associados*, 179 p. Inédito.

Dutra, G. 2013. Síntese dos processos de gênese de cavidades em litologias de ferro. In: Congresso Brasileiro de Espeleologia, 32. Barreiras. SBE. *Anais...* p. 415-426.

Guild, P.W. 1957. Geology and Mineral Resources of the Congonhas District. *United States Geological Survey Professional Paper*, 290: 90 p.

Henwood, W.J. 1871. On the gold mines of Minas Gerais. In: Observations on metalliferous deposits. *Transactions of the Royal Geological Society of Cornwall*, 8: 168-370.

Hill, C.A.; Forti, P. 1997. *Cave Minerals of the World*. National Speleological Society - NSS, 463 p.

Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. 2008. The contribution of ironstone outcrops to plant diversity in the Iron Quadrangle, a threatened Brazilian landscape. *AMBIO*, 37: 324-326.

Jansen, D.C. 2011. Levantamento das Cavidades Naturais Subterrâneas em Unidades de Conservação no Estado de Minas Gerais. 1º Simpósio Mineiro do Carste – IGC-UFMG (pôster), Belo Horizonte, nov. 2011. Disponível em: <http://www.blog.gpme.org.br/?p=1965>. Acesso em: 20 ago. 2014.

Kipnis, R.; Caldarelli, S.B. & Oliveira, W.C. 2005. Contribuição para a cronologia da colonização amazônica e suas implicações teóricas. *Revista de Arqueologia*, 18: 81-93.

Lobato, L.M.; Rosière, C.A.; Figueiredo-Silva, R.C.; Zucchetti, M.; Baars, F.J.; Seoane, J.C.S.; Rios, F.J.; Pimentel, M.; Mendes, M. & Monteiro, A.M. 2005. A Mineralização hidrotermal de ferro da Provincial Mineral de Carajás – controle estrutural e contexto na evolução metalogenética da província. In: Marini, J. O.; Queiroz, E. T. & Ramos, B. W. *Caracterização de Depósitos Minerais em Distritos Mineiros da Amazônia*. Brasília: DNPM – CT/MINERAL – ADIMB. 782 p.

Macambira, J.B. 2003. *O ambiente deposicional da Formação Carajás e uma proposta de modelo evolutivo para a Bacia Grão Pará*. Tese de Doutorado. Campinas: Universidade Estadual de Campinas / Instituto de Geociências. 217 p.

Maurity, C.W. & Kotschoubey, B. 2005. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 – Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. *O Carste*, 17 (3): 78-91.

McFarlane, M.J. & Twidale, C.R. 1987. Karstic features associated with tropical weathering profiles. *Zeitschrift fur Geomorphologie Suppl. Bd*, 64: 73-95.

- Messias, M.C.T.B. 2011. *Fatores ambientais condicionantes da diversidade florística em campos rupestres quartzíticos e ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Tese de Doutorado. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto / Departamento de Biologia.
- Ministério do Meio Ambiente - MMA. 2009. Gabinete do Ministro. *Instrução Normativa nº 2, de 20 de agosto de 2009*. Dispõe sobre a metodologia para classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas. Diário Oficial da União, Brasília, 21 de agosto de 2009, Seção 1, n. 160, p. 68-71.
- Monteiro, H.; Vasconcelos, P.M.; Farley, K.A.; Spier, C. & Mello, C. 2014. (U-Th)/He Geochronology of Goethite and the Origin and Evolution of Cangas. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 131: 267-289.
- Palmer, A.N. 2009. *Cave Geology*. 2nd edition. Dayton, Ohio: Cave books. 454 p.
- Parker, C.W.; Auler, A.S.; Senko, J.; Sasowsky, I.D.; Piló, L.B.; Smith, M.; Johnston, M. & Barton, H. 2013. Microbial iron cycling and biospeleogenesis: cave development in the Carajás Formation, Brazil. *ICS Proceedings*, Prague, 442-446.
- Pellegrini, T.G. & Ferreira, R.L. 2011. *Coarazuphium tapiaguassu* (Coleoptera: Carabidae: Zuphiini), a new Brazilian troglobitic beetle, with ultrastructural analysis and ecological considerations. *Zootaxa*, 3116: 47-58.
- Pereira, M.C. 2012. *Aspectos Genéticos e Morfológicos das Cavidades Naturais da Serra da Piedade – Quadrilátero Ferrífero/MG*. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Geociências. 149 p.
- Pinheiro, R.V.L. 1997. *Reactivation history of the Carajás and Cinzento Strike-Slip System, Amazon, Brazil*. Unpublished Doctoral Dissertation. Durham: University of Durham.
- Pinheiro, R.V.L.; Henriques, A.L.; Silveira, L.T. & Maurity, C.W. 1988. *Considerações Preliminares sobre a Espeleologia da Serra dos Carajás (PA)*. Grupo Espeleológico Paraense. Relatório inédito, 38 p.
- Pinheiro, R.V.L. & Maurity, C.W. 1988. As cavernas em rochas intempéricas da Serra dos Carajás (PA) – Brasil. In: Congresso de Espeleologia da América Latina e do Caribe, 1, Belo Horizonte. *Anais...* p. 179-186.
- Piló, L.B. & Auler, A.S. 2005. Cavernas de Minério de Ferro e Canga de Capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, MG. *O Carste*, 17: 92-105.
- Piló, L.B. & Auler, A.S. 2009. Geoespeleologia das cavernas em rochas ferríferas da região de Carajás, PA. In: Congresso Brasileiro de Espeleologia, 30, Montes Claros. SBE. *Anais...* p. 181-186.
- Piló, L.B. & Auler, A.S. 2011. Mineralogia dos espeleotemas das cavernas ferríferas da região de Carajás, PA. In: Seminário Vale de Geologia do Minério de Ferro e I Seminário de Espeleologia. Belo Horizonte. *Anais...* p. 80-81.
- Piló, L.B.; Auler, A.S.; Coelho, A. & Scherer, R. 2013. Índícios de bioerosão (paleotocas) em cavernas ferríferas da região de Carajás, Pará. In: Simpósio Mineiro do Carste – carste e cavernas: minas de informações, 2, CNKC/IGC-UFGM. Belo Horizonte. *Resumos e pôsteres...* p. 39-40.

- Piló, L.B.; Coelho, A.; Soares, G.A. & Franco, F.P. 2014. Serra da Bocaina - Espeleologia. *Carste Consultores Associados*, 178 p. Inédito.
- Pinto-da-Rocha, R. & Andrade, R. 2012. A new species of *Cryptocellus* (Arachnida: Ricinulei) from Eastern Amazonia. *Zoologia*, 29: 474-478.
- Pissis, N.A. 1842. Mémoire sur la position géologique des terrains de la partie australe du Brésil et sur les soulèvements qui, à diverses époques, ont changé le relief de cette contrée. *Memoire de L'Institute de France*, 10: 353-413.
- Rosière, C.A. & Rios, F.J. 2004. The origin of hematite in high-grade iron ores based on infrared microscopy and fluid inclusion studies: the example as the Conceição mine, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Economic Geology*, 99: 611-624.
- Salgado, A.A.R.; Varajão, C.A.C.; Colin, F.; Braucher, R.; Varajão, A.F.D.C.; Nalili Júnior, H.A.; Cherem, L.F.S.; Marent, B.R. & Brindusa, C.B. 2007. Estimativa das taxas de erosão das terras altas da alta bacia do Rio das Velhas no Quadrilátero Ferrífero: implicações para a evolução do relevo. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 8 (2): 3-10.
- Santos, L.M. 2013. *Mapeamento dos usos e coberturas do solo desenvolvidos sobre substratos ferríferos no Quadrilátero Ferrífero*. Relatório Final. Vale, Laboratório de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Isaviçosa e Bioma Meio Ambiente. 37 p. Inédito.
- Simmons, G.C. 1963. Canga caves in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *The National Speleological Society Bulletin*, 25: 66-72.
- Simmons, G.C. 1964. Leucophosphite, a new occurrence in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *The American Mineralogist*, 49: 377-386.
- Spier, C.A. 2005. Geoquímica e gênese das formações ferríferas bandadas e do minério de ferro da mina de Águas Claras, Quadrilátero Ferrífero, MG. Tese de Doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo / Instituto de Geociências.
- Spier, C.A.; Oliveira, S.M.B. & Rosière, C.A. 2003. Geology and geochemistry of the Aguas Claras and Pico iron ore mines, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Mineralium Deposita*, 38: 751-774.
- Tolbert, G.E.; Tremaine, J.W.; Melcher, G.C. & Gomes, C.B. 1971. The recently discovered Serra dos Carajás iron deposits, northern Brazil. *Economic Geology*, 66: 985-994.

PALEOTOCAS DESENVOLVIDAS EM ROCHAS FERRÍFERAS: IMPORTANTE REGISTRO DA MEGAFUNA NO NORTE DE MINAS GERAIS

Francisco Sekiguchi Buchmann, Felipe Fonseca do Carmo, Flávio Fonseca do Carmo,
Claudia Maria Jacobi, Vitor Moreira Sandim Ferreira & Heinrich Theodor Frank

Introdução

Alguns vertebrados produzem, a partir da escavação, estruturas em forma de galerias subterrâneas, conhecidas como tocas. Tatus, coelhos, musaranhos e toupeiras, por exemplo, produzem tocas para uso como habitação, como refúgio durante a hibernação, ou para o forrageio. No registro fóssil, quando se preserva a estrutura original escavada pelo organismo, estas estruturas são denominadas paleotocas. Quando as tocas são preenchidas posteriormente com sedimento, são denominadas como crotovinas (Bergqvist & Maciel, 1994). Tanto as crotovinas quanto as paleotocas representam registros paleontológicos e, portanto, são incluídas entre os icnofósseis (palavra de origem grega; *ichnos* = pegada ou trilha).

O estudo das paleotocas no Brasil é uma nova linha de pesquisa na paleontologia. Paleotocas são estruturas de bioerosão (escavação por animais) em ambiente continental, encontradas na forma de túneis ou galerias escavadas em rochas alteradas ou não. Essas estruturas formam galerias subterrâneas com seções elípticas ou circulares com 0,7 a 4,0 m de diâmetro e até centenas de metros de comprimento. Tais galerias foram utilizadas como moradias, temporárias ou permanentes, atribuídas a mamíferos fossoriais gigantes que habitavam a América do Sul durante o Terciário e o Quaternário.

As paleotocas na América do Sul foram primeiramente descritas em afloramentos do litoral argentino, entre as cidades de Mar del Plata e Miramar (Província de Buenos Aires), em sedimentos areno-lamosos de idade Plio-Pleistocênico, com cerca de 3 milhões de anos (Ameghino, 1908; Kraglievich, 1952; Dondas *et al.* 2009). No Uruguai as paleotocas foram recentemente descritas por Ogando *et al.* (2010, 2011). No Brasil, há registros de paleotocas no Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro (Bergqvist & Maciel, 1994; Buchmann *et al.*, 2003, 2005, 2008a, b, 2009, 2011; Frank *et al.* 2008a,b, 2009, 2010a,b,c,d,e,f; 2011a,b,c; 2012, 2013; Lima *et al.*, 2010, Stevaux *et al.*, 2010), e recentemente em Minas Gerais (Carmo *et al.* 2011b; Buchmann *et al.* 2013).

A ausência de restos fósseis no interior das galerias impede a identificação precisa do organismo responsável por sua escavação. Entretanto, as dimensões e as marcas presentes ao longo das galerias sugerem pelo menos dois escavadores: a) mamíferos xenartros dasipodídeos (tatu-gigante) no caso de galerias com diâmetro entre 0,7 e 1,4 m; e b) mamíferos xenartros milodontídeos (preguiça-gigante) no caso das galerias com diâmetro de 1,4 a 4 m (Fig. 1 e 2). Normalmente a galeria apresenta câmaras de giro, marcas de arrasto da carapaça e/ou marcas de garras durante a escavação (Buchmann *et al.*, 2009; Frank *et al.*, 2010a, b, c, 2011b). A idade das paleotocas está estimada entre 3 milhões de anos e 400 mil anos, porém, devido às ocorrências em depósitos pleistocênicos, não se descarta a possibilidade de idades próximas a 10 mil anos (Buchmann *et al.* 2009).

As paleotocas desenvolvidas em sistemas ferruginosos

As primeiras descrições de paleotocas desenvolvidas em sistemas ferruginosos foram realizadas por Carmo *et al.* (2011a, b) e Buchmann *et al.* (2013a, b), quando foram investigadas galerias subterrâneas escavadas em cavidades naturais localizadas nos municípios de Grão-Mogol,

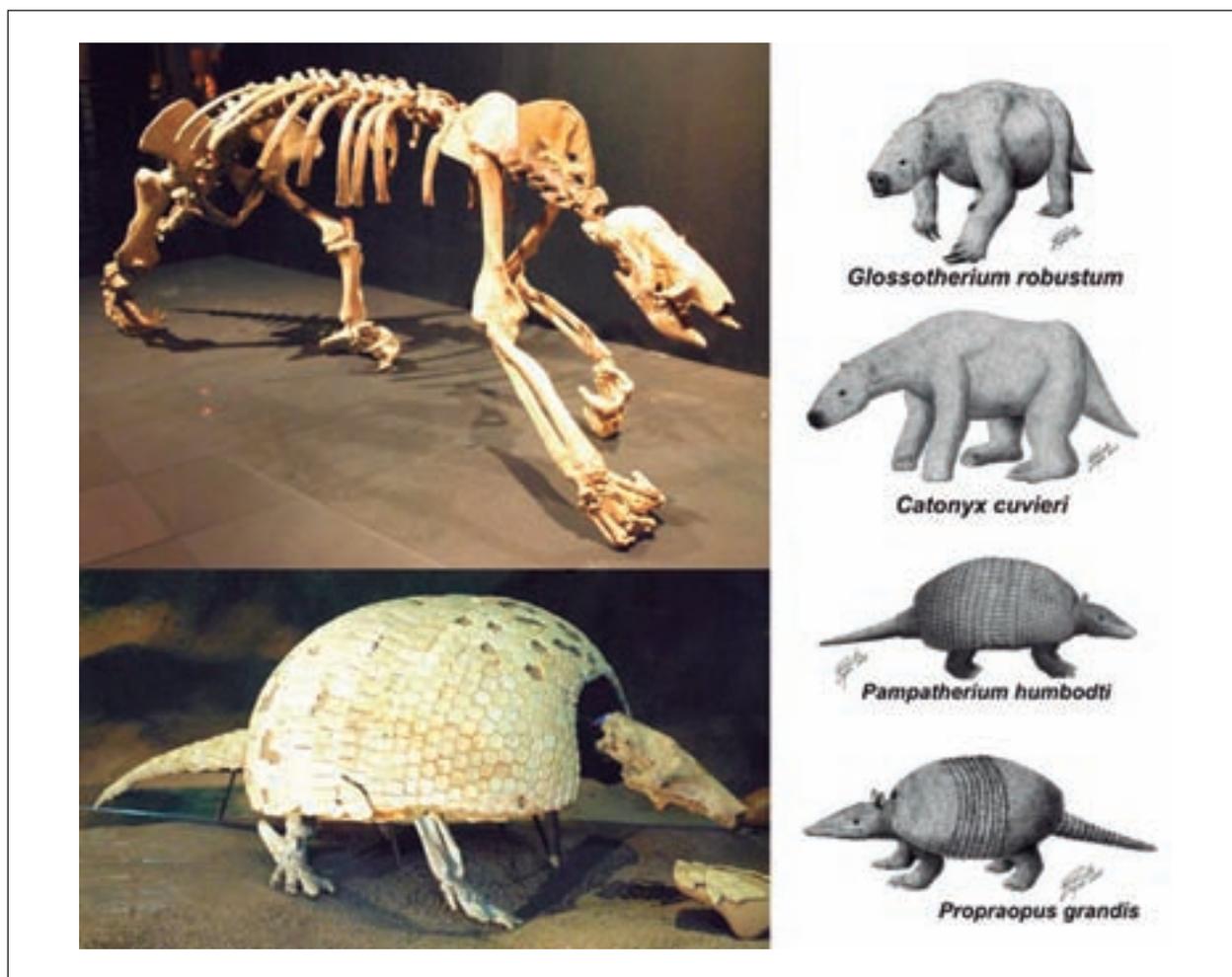


Figura 1 – Esqueleto de *Nothrotherium* (preguiça-gigante) e *Pampatherium* (tatu-gigante). Originals fotografados no Museu da PUC-MG (autor das fotos: Francisco Buchmann). Desenhos de Renato Lopes.

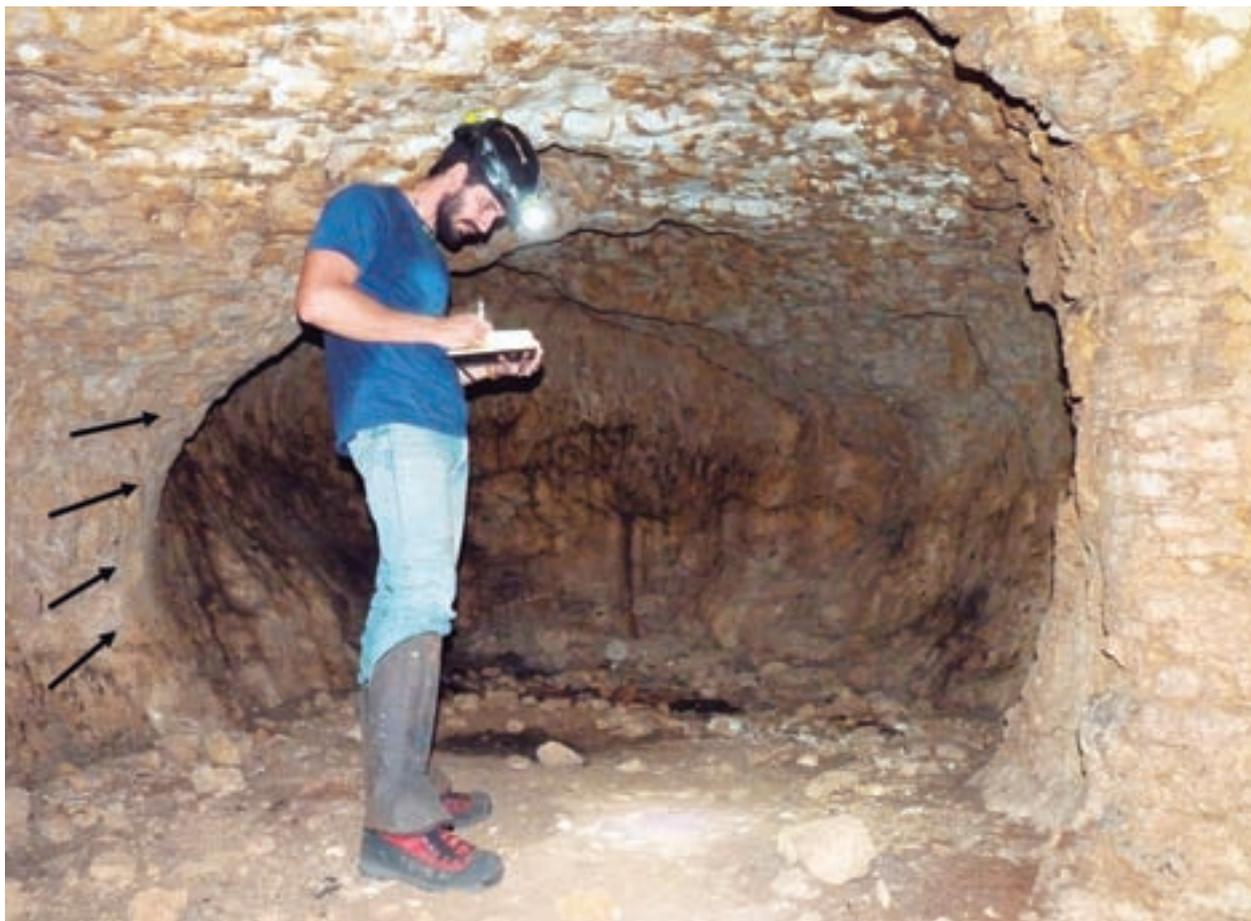


Figura 2 – Paleotoca apresentando câmara de giro e marcas de garras (ao fundo) e marcas de desgaste da rocha (setas pretas) devidas provavelmente ao atrito com a pelagem das preguiças-gigantes. Foto: Flávio do Carmo.

Riacho dos Machados e Rio Pardo de Minas, norte de Minas Gerais. Atualmente já foram registradas 18 paleotocas (Fig. 3 e Tab. 1). Duas localidades se destacam pelo expressivo registro de paleotocas e por representarem locais de acesso difícil e muito bem preservados (Fig. 4): o vale do Rio Peixe Bravo, com nove registros, e o Vale dos Gigantes, com sete registros.

As paleotocas foram escavadas em cavidades localizadas entre 709 m e 890 m de altitude, onde foram identificadas dezenas a centenas de marcas de garras por metro quadrado, muitas delas formando marcas duplas paralelas, às vezes marcas duplas entrelaçadas. Para um trecho do Rio Peixe Bravo já foram observadas cerca de 60 cavidades, a maioria inserida na alta e média vertente das escarpas (Fig. 4). Entre as paleotocas localizadas no vale do Peixe Bravo, duas possuem características singulares: Mocarorô e Três Buracos. A paleotoca do Mocarorô insere-se na cavidade com maior desenvolvimento linear, e ao longo de sua extensão e de seus condutos foram registradas marcas de garras distribuídas desde a altura do substrato até acima de 3 m. A paleotoca dos Três Buracos (Fig. 5) é formada por apenas um conduto linear desenvolvido no contato canga/saprólito. A escavação em substratos ferruginosos, em especial nas cangas, desperta interesse sobre o potencial de bioturbação da megafauna, fato notável devido à dureza desses litotipos.

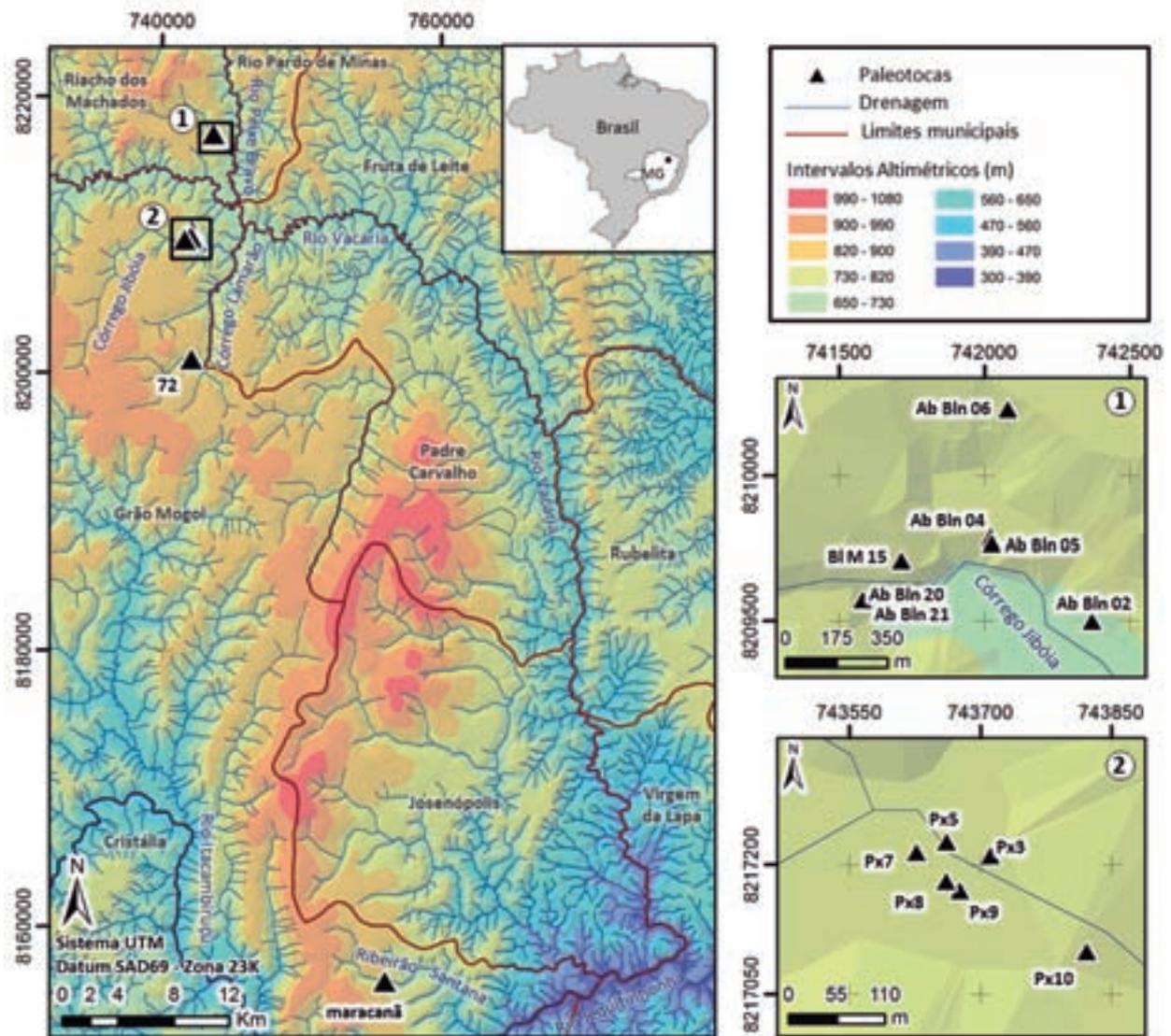


Figura 3 – Localização das paleotocas inventariadas nos municípios de Rio Pardo de Minas, Riacho dos Machados e Grão-Mogol, norte de Minas Gerais. Adaptado de: Miranda, E. E. de; (Coord.). Brasil em Relevo. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Malha municipal do IBGE, com a divisão das mesoregiões, das microregiões, dos municípios e dos setores censitários do Brasil para o ano de 2005. Escala 1:500.000
Malha de drenagem perene e efêmera em escala 1:100.000, (Comig, 1997).

O Vale dos Gigantes é um topônimo referente a um pequeno vale de encostas íngremes, no qual as paleotocas estão dispostas de um lado (orientadas para SW) e do outro (orientadas para NE) de um trecho do Ribeirão Esmeril. As estruturas foram escavadas no terço superior das escarpas, com distâncias que variaram de 30 a 100 m entre si. As paleotocas são formadas por salões cujas entradas possuem 2 m de diâmetro e o volume escavado varia entre 53 a 266m³. Internamente, os salões possuem 10 a 40 m de comprimento, 5 a 10 m de largura e 2 a 4 m de altura. Devido ao intemperismo na entrada e o abatimento do teto, não foram observadas marcas na entrada, entretanto, estas se concentram no fundo da paleotoca, e estendem-se do nível do

Tabela 1 – Dimensões das cavidades naturais subterrâneas onde foram inventariadas as paleotocas localizadas nos municípios de Rio Pardo de Minas, Riacho dos Machados e Grão-Mogol, norte de Minas Gerais.

Cavidades	Projeção horizontal (m)	Altitude (m)
Mocororô	96,50	890
Três Buracos	37	770
Teto de Coral	40	790
PX – 3	9,90	740
PX – 5	33,30	756
PX – 7	9,10	741
PX – 8	18,30	740
PX – 9	22,90	749
PX – 10	12,80	731
BL8N-2	11,3	738
BL8N-4	16,1	738
BL8N-5	38,6	737
BL8N-6	6,05	778
BL8N-15	6,2	736
BL8N-20	5,1	748
BL8N-21	9,3	752
072	36,55	852
Maracanã	26,50	709

piso até o teto. Além das marcas de garras, arcos de sustentação e superfícies lisas por atrito de formato elíptico foram observados e interpretados como o local de repouso. Devido as grandes dimensões e a identificação de marcas duplas, atribuímos a escavação das paleotocas pela megafauna de mamíferos extintos, sugerindo que um milodontídeo cavador (*preguiça-gigante de 2 dedos*) semelhante a *Valgipes* sp. foi responsável pela escavação das paleotocas. A seguir serão descritas características de algumas das paleotocas localizadas no Vale dos Gigantes.

A Paleotoca 072 apresenta duas aberturas em arco, voltadas para SW e se expandindo em um salão com 36 metros de projeção horizontal, que mostra luminosidade somente nos primeiros metros, sendo considerada afótica (Fig. 6). Além das marcas de garras, identificamos uma superfície lisa por atrito de formato elíptico. Este icnofóssil foi atribuído ao desgaste da rocha devido ao atrito com a pelagem das preguiças-gigantes em seu local de repouso. Associado a esta superfície, foi identificado picoteamento na superfície rochosa, indicando registros da arte rupestre (Fig. 7).



Figura 4 – Paisagens de inserção da maioria das paleotocas inventariadas nos municípios de Rio Pardo de Minas, Riacho dos Machados e Grão-Mogol, norte de Minas Gerais. Acima: a maioria das paleotocas situa-se no terço superior das escarpas (linha pontilhada), geralmente no contato entre as cangas e os diamictitos ferruginosos. Abaixo: detalhe das escarpas ferríferas onde se localizam os vestibulos das cavidades naturais subterrâneas. Fotos: Flávio do Carmo.



Figura 5 – Paleotoca dos Três Buracos. Em detalhe, as marcas de garras sobre a canga. Foto: Flávio do Carmo.



Figura 6 – Acima, entrada da paleotoca 072; abaixo, o interior. Fotos: Francisco Buchmann.



Figura 7 – Fotografia dos icnofósseis na paleotoca 072; acima, marcas de garras; abaixo, o desgaste da rocha devido ao atrito com a pelagem das preguiças-gigantes. Nessa superfície, foi identificado picoteamento, indicando registro de arte rupestre (escala = 5cm). Fotos: Francisco Buchmann.

A paleotoca Maracanã exhibe projeção horizontal com 26 metros. No salão ocorrem muitos icnofósseis representados por marcas de garras, com alguns setores com marcas paralelas, outros com marcas entrelaçadas, identificadas desde o nível do solo até o teto com cerca de 2,5 metros de altura. Também identificamos a superfície rochosa lisa de formato elíptico devido ao atrito com a pelagem das preguiças-gigantes em seu local de repouso (Fig. 8 e 9). Foram observadas estruturas semelhantes a arcos de sustentação escavados nas paredes (Fig. 10).

A paleotoca PX-5 tem 27,5 m de projeção horizontal, 3 m de desnível, área de 108 m² e volume aproximado de 266 m³ (Fig. 11). No teto e paredes havia marcas de garras, e três superfícies lisas por atrito de formato elíptico. Estes icnofósseis sugerem que três preguiças-gigantes compartilhavam o local de repouso.

A paleotoca PX-8 tem 20 m de projeção horizontal, 3,7 m de desnível, área de 71 m² e volume aproximado de 85 m³ (Fig. 12). No teto e paredes havia excelentes marcas de garras, muito preservadas. Identificamos marcas duplas sugerindo um milodontídeo cavador – preguiça-gigante de 2 dedos (Fig. 13). Identificamos duas superfícies lisas por atrito de formato elíptico (Fig. 14). Estas marcas, atribuídas ao desgaste da rocha devido ao atrito com a pelagem das preguiças-gigantes em seu local de repouso, sugerem que duas preguiças ocupavam o local, indicando hábito gregário.



Figura 8 – Interior da paleotoca Maracanã. À direita encontra-se iluminado o local de repouso da preguiça-gigante, representado pela superfície lisa por atrito de formato elíptico. Fotos: Francisco Buchmann.

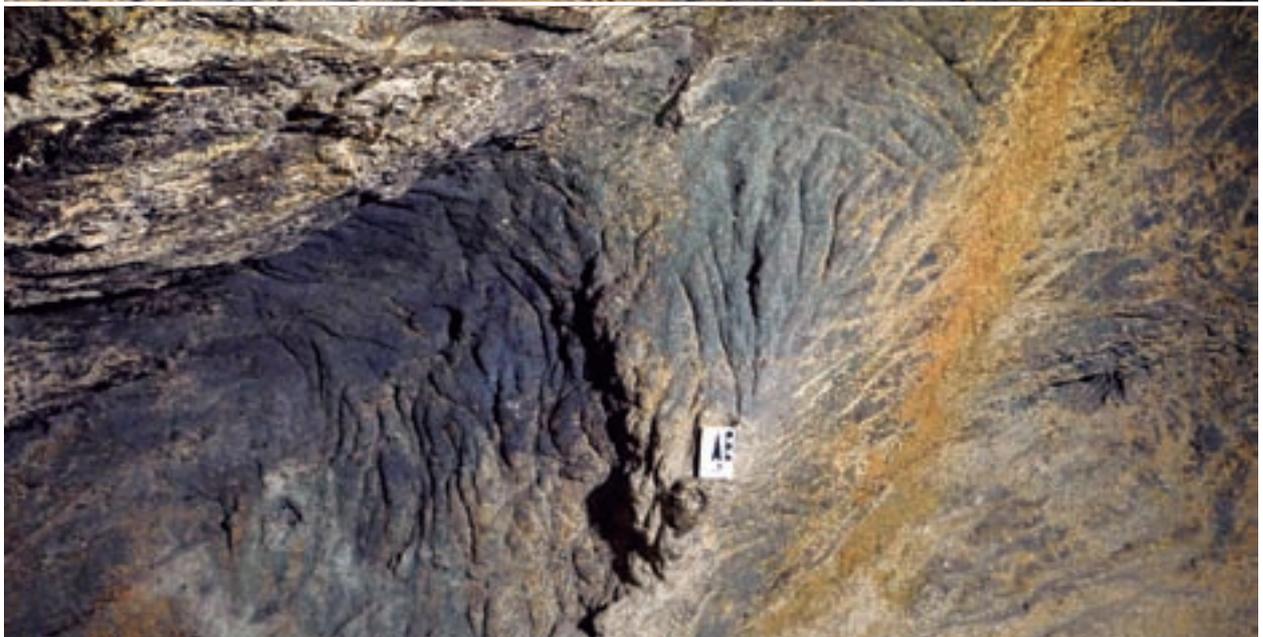


Figura 9 – Icnofósseis (marcas de garras) atribuídos a preguiças-gigantes na paleotoca Maracanã (escala = 5cm). Fotos: Francisco Buchmann.



Figura 10 – Arcos de sustentação na paleotoca Maracanã. Fotos: Francisco Buchmann.



Figura 11 – Interior da paleotoca PX-5. Na base da foto, o local de repouso de preguiças-gigantes. Fotos: Francisco Buchmann.

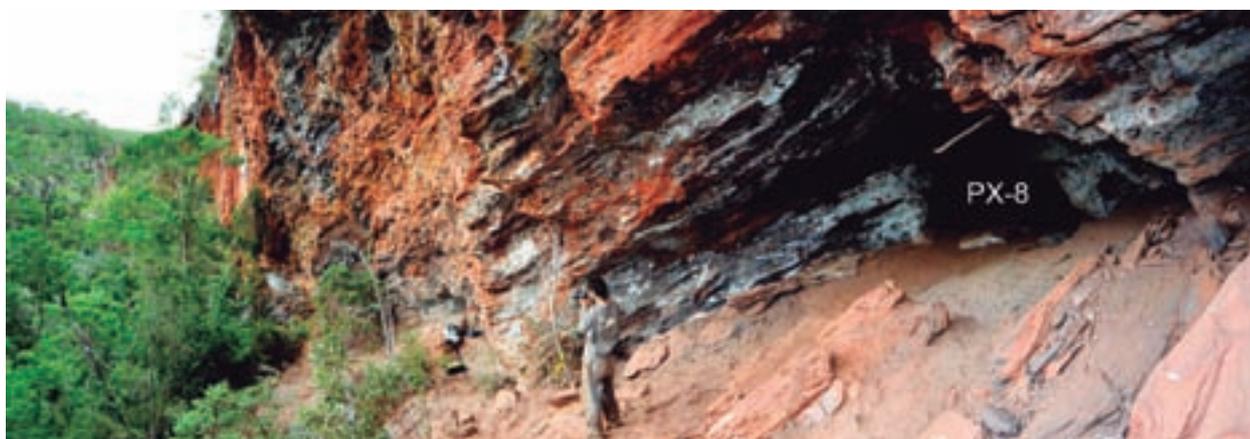


Figura 12 – Entrada da paleotoca PX-8 no Vale dos Gigantes.. Fotos: Francisco Buchmann.



Figura 13 – Identificação e medidas das marcas da paleotoca PX-8 (escala = 1m). Fotos: Francisco Buchmann.



Figura 14 – Fotografia da superfície lisa por atrito de formato elíptico atribuído ao desgaste da rocha devido ao atrito com a pelagem das preguiças-gigantes na paleotoca PX-8. Fotos: Francisco Buchmann.

A paleotoca PX-9 com 20,06 m de projeção horizontal, 3,7 m de desnível, área de 71 m² e volume aproximado de 85 m³. No teto e paredes havia excelentes marcas de garras, e também encontramos o local de repouso bem definido (Fig. 15).

Se compararmos as paleotocas do Vale do Peixe Bravo, podemos observar um gradiente, onde as paleotocas 072, PX-10 e PX-3 representam o início da escavação, com pequeno volume, parcialmente iluminado e sem local de repouso bem definido; e as paleotocas PX-8, PX-9 e PX-5 representam a conclusão da escavação, com grande volume, zona afótica e local de repouso bem definido. Estes dados sugerem que duas ou três preguiças-gigantes ocupavam a mesma toca, indicando o habito gregário (Fig. 16).



Figura 15 – Fotografia dos icnofósseis, superfície lisa por atrito de formato elíptico, atribuído ao desgaste da rocha devido ao atrito com a pelagem das preguiças-gigantes em seu local de repouso (escala a direita = 1m). Fotos: Francisco Buchmann.

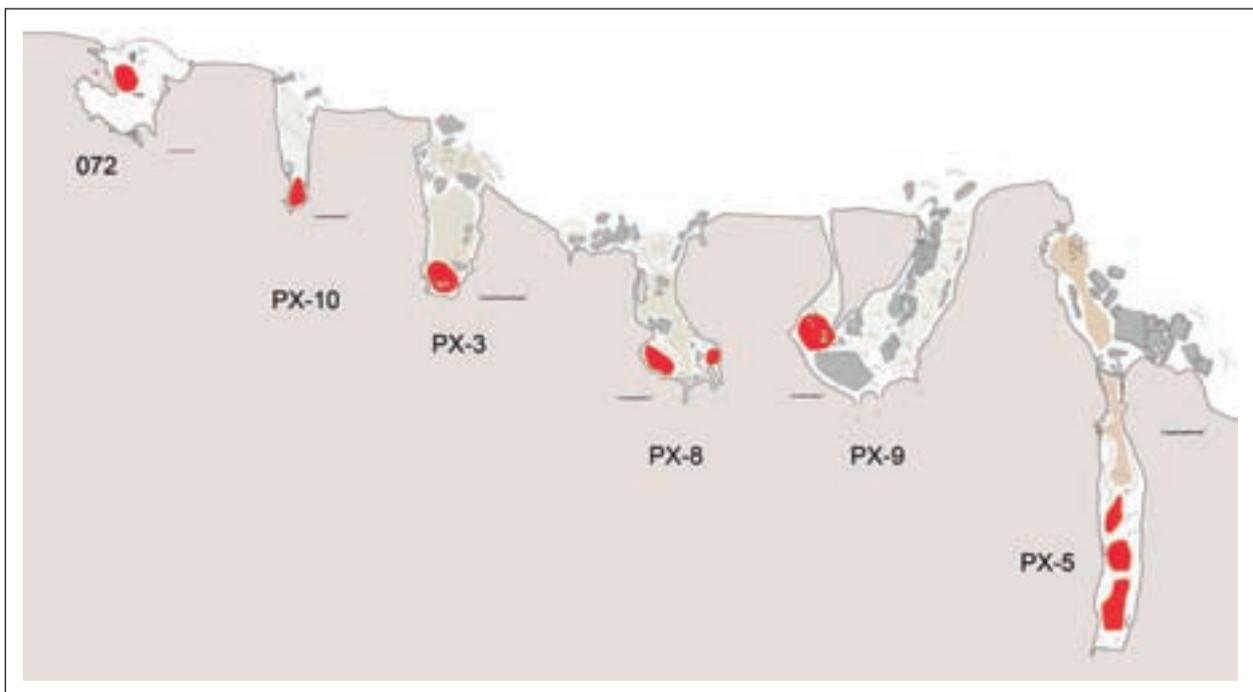


Figura 16 – Comparação entre as plantas-baixas das paleotocas do vale do Rio Peixe Bravo (Fonte: Sul Americana de Metais). Em vermelho, o local de repouso das preguiças-gigantes (escala 3 m).

Fauna associada

No interior das paleotocas foram registradas espécies de invertebrados e morcegos, como as espécies *Chrotopterus auritus* e *Lophostoma brasiliense* na paleotoca PX-9 (Fig. 17). No exterior das paleotocas, principalmente entre as PX-8 e PX-9, foram registradas espécies de répteis, como a Jararaca (*Bothrops* sp.). Foram observadas algumas aves – como a *Aratinga leucophthalma* (Periquitão-maracanã ou Aratinga-de-bando) de distribuição cosmopolita e a *Aratinga acuticaudata* (Aratinga-de-testa-azul), cuja literatura aponta para populações originalmente restritas ao sul e ao nordeste (Fig. 18). Os indivíduos que observamos provavelmente são provenientes de um processo de expansão de limites geográficos que estudos recentes indicam estar acontecendo (Sick, 2001). Avistamos um bando misto no Vale dos Gigantes. No Bloco-8 Norte, as penas e cascas de ovos encontrados dentro da BL8N-4 indicam que a espécie *A. leucophthalma* nidifica em paleotocas.



Figura 17 – Espécies de invertebrados e vertebrados registrados dentro das paleotocas, invertebrados (insetos) e morcegos das espécies *Chrotopterus auritus* e *Lophostoma brasiliense*.. Fotos: Francisco Buchmann.



Figura 18 – Espécies de vertebrados, répteis e aves registrados fora das paleotocas: uma Jararaca (*Bothrops* sp.) e duas espécies de Maracanã (*Aratinga acuticaudata* e *Aratinga leucophthalma*). Fotos: Francisco Buchmann.

Considerações finais

As paleotocas desenvolvidas em rochas ferríferas no norte de Minas Gerais formam um importante sítio paleontológico no *Vale dos Gigantes*, em especial as paleotocas PX-8 e PX-9, que exibem os melhores registros de icnofósseis dentre as paleotocas analisadas no norte de Minas Gerais. A sua conservação seria um grande ganho científico; nos seus salões estão preservados excelentes registros de icnofósseis da escavação de preguiças-gigantes. Sugerimos transformar o *Vale dos Gigantes* numa Unidade de Conservação, pois a preservação do vale e suas paleotocas, tanto do ponto de vista acadêmico, quando pesquisadores podem estudar os hábitos fósseis das preguiças-gigantes, como do ponto de vista cênico, onde turistas e moradores locais podem entender melhor sua região e aprender a valorizar nossa história. A instalação de mirantes e a adequação das trilhas podem facilitar o acesso de pesquisadores e visitantes.

Referências Bibliográficas

- Alkmim, F.F. & Martins-Neto M.A. 2001. A bacia intracratônica do São Francisco: Arcabouço estrutural e cenários evolutivos. In: Pinto, C.P.; Martins-Neto, M.A. *Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais*. Belo Horizonte: SBG-MG. p. 9-30.
- Ameghino, F. 1908. Las formaciones sedimentarias de la región litoral de Mar del Plata y Chapadmalal. *Museo de Historia Natural de Buenos Aires*, 7(3): 343-428.
- Babinski, M.; Gradim, R.J.; Pedrosa-Soares, A.C.; Alkmim, F.F.; Noce, C.M. & Liu, D. 2005. Geocronologia U-Pb (SHRIMP) e Sm-Nd de xistos verdes basálticos do Orógeno Araçá: Implicações para a idade do grupo Macaúbas. *Revista Brasileira de Geociências*, 35(4-suplemento): 77-81.
- Becker, M. & Dalponte, J.C. 1999. *Rastros de mamíferos silvestres brasileiros*. Brasília: Editora UnB / IBAMA. 180 p.
- Bergqvist, L.P. & Maciel, L. 1994. Icnofósseis de mamíferos (crotovinas) na planície costeira do Rio Grande do Sul. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 66(2): 189-197.
- Buchmann, F.S.C.; Caron, F.; Lopes, R.P. & Tomazelli, L.J. 2003. Traços fósseis (paleotocas e crotovinas) da megafauna extinta no Rio Grande do Sul, Brasil. 9º Congresso da ABEQUA - Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Recife. *Anais ...* CD-ROOM.
- Buchmann, F.S.C.; Caron, F. & Lopes, R.P. 2005. Novas paleotocas de tatus gigantes extintos identificadas no Estado de São Paulo: Comparação com o Rio Grande do Sul e a Argentina. Reunião Regional de Paleontologia - Paleo 2005, Porto Alegre. *Resumos...*
- Buchmann, F.S.C.; Farias, D.S.E. & Fornari, M. 2008a. Ocupação das paleotocas de tatus gigantes extintos por índios do grupo Jê no sul de Santa Catarina, Brasil. VI Encontro SAB Sul, Tubarão. *Resumos...* p. 35.

Buchmann, F.S.C.; Lopes, R.P. & Caron, F. 2008b. Paleotocas de mamíferos extintos no Sudeste e Sul do Brasil. VI Simpósio Brasileiro de Paleontologia de Vertebrados, Ribeirão Preto. *Boletim de resumos...* p. 56-57.

Buchmann, F.S.C.; Lopes, R.P. & Caron, F. 2009. Icnofósseis (Paleotocas e Crotovinas) atribuídos a mamíferos extintos no Sudeste e Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 12(3): 247-256.

Buchmann, F.S.C.; Frank, H.T.; Lima, L.G.; Caron, F.; Fornari, M. & Lopes, R.P. 2011. 10 anos do Projeto Paleotocas: Estado da arte. In: 13º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário - ABEQUA, 13, Armação dos Búzios. *Anais...* 1 CD-ROM.

Carmo, F.F.; Salgado, A.A.S. & Jacobi, C.M. 2011a. Novo sítio espeleológico em sistemas ferruginosos, no vale do Rio Peixe Bravo, norte de Minas Gerais, Brasil. *Espeleo-Tema*, 22(1): 25-39.

Carmo, F.F.; Buchmann, F.S.C.; Frank, H.T. & Jacobi, C.M. 2011b. Primeiros registros de paleotocas desenvolvidas em formações ferríferas, Minas Gerais, Brasil. Ponta Grossa: *Anais do 31º Congresso Brasileiro de Espeleologia*, p. 531-540.

Carvalho, I.S. & Fernandes, A.C.S. 2000. Icnofósseis. In: Carvalho, I.S. *Paleontologia*. Rio de Janeiro: Editora Interciência. 628 p.

Caxito, F.A.; Santos, Y.L.O.P.; Uhlein, A.; Pedreira, A.J. & Faulstich, F.R.L. 2008. A geologia entre Macaúbas e Canatiba (Bahia) e a evolução do Supergrupo Espinhaço no Brasil Oriental. *Geonomos*, 16(1): 11-20.

Dondas, A.; Isla, F.I. & Carbalido, J.L. 2009. Paleocaves exhumed from Miramar Formation (Ensenadense Stage-age, Pleistocene), Mar del Plata, Argentina. *Quaternary International*, 210: 44-50.

Edmond, G. 1985a. The fossil giant armadillos of North America (Pampatheriinae, Xenarthra = Edentata). In: Montgomery, G.G. *The evolution and ecology of armadillos, sloths, and vermilinguas*. Washington: Smithsonian Institution Press. p. 83-93.

Edmond, G. 1985b. The armor of fossil giant armadillos (Pampatheriinae, Xenarthra = Edentata). Number 40, *Pearce-Sellards series*, Texas Memorial Museum, University of Texas. p. 1-40.

Frank, H.T. 2009. Paleotocas na região metropolitana de Porto Alegre. *Boletim eletrônico da Sociedade de Espeleologia Brasileira - SBE*, ano 4, nº114. Disponível em: www.sbe.com.br/sbenoticias/SBENoticias_114.pdf

Frank, H.T.; Caron, F.; Lima, L.G.; Lopes, R.P.; Fornari, M. & Buchmann, F.S.C. 2010a. The occurrence pattern of large Cenozoic palaeoburrows in a pilot area in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. In: VII Simpósio Brasileiro de Paleontologia de Vertebrados, Rio de Janeiro. *Anais...* 1 CD-ROM.

Frank, H.T.; Caron, F.; Lima, L.G.; Lopes, R.P.; Fornari, M. & Buchmann, F.S.C. 2010b. Uma caverna formada por processos biofísicos e geológicos: A Paleotoca do Arroio da Bica (Nova Hartz, Rio Grande do Sul, Brasil). In: II Simpósio Sul-Brasileiro de Espeleologia. Ponta Grossa, Julho de 2010. *Anais...* 1 CD-ROM.

Frank, H.T.; Caron, F.; Lima, L.G.; Lopes, R.P.; Azevedo, L.W.; Fornari, M. & Buchmann, F.C.S. 2010c. Paleotocas e o Cadastro Nacional de Cavernas Brasileiras - Uma Discussão. In: II Simpósio Sul-Brasileiro de Espeleologia. Ponta Grossa, Julho de 2010. *Anais...* 1 CD-ROM.

- Frank, H.T.; Lima, L.G.; Caron, F.; Buchmann, F.C.S.; Fornari, M. & Lopes, R.P. 2010d. The megatunnels of the South American Pleistocene megafauna. In: Simpósio Latinoamericano de Icnologia, São Leopoldo, Novembro de 2010. *Resúmenes/Abstracts...* p. 39.
- Frank, H.T.; Lima, L.G.; Caron, F.; Lopes, R.P.; Buchmann, F.C.S. & Fornari, M. 2010e. Phealth and life risks in large palaeovertebrate Tunnel Research. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Paleontologia - PALEO 2010, Seção RS, 9-10 de Dezembro de 2010, Porto Alegre, RS, Brasil. *Resumos...* 1 CD-ROM.
- Frank, H.T.; Lima, L.G.; Caron, F.; Lopes, R.P.; Buchmann, F.C.S. & Fornari, M. 2010f. Discovery Strategies of Large Palaeovertebrate Tunnels in Southernmost Brazil. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Paleontologia - PALEO 2010, Seção RS, 9-10 de Dezembro de 2010, Porto Alegre. *Resumos...* 1 CD-ROM.
- Frank, H.T.; Buchmann, F.C.S.; Lima, L.G.; Caron, F.; Lopes, R.P. & Fornari, M. 2011. Karstic Features Generated from Large Palaeovertebrate Tunnels in Southern Brazil. *Espeleo-Tema*, 22(1): 139-143.
- Frank, H.T.; Buchmann, F.S.C.; Lima, L.G.; Fornari, M.; Caron, F. & Lopes, R.P. 2012. Cenozoic Vertebrate Tunnels in Southern Brazil. In: Netto, R.G., Carmona, N.B. & Tognoli, F.M.W. *Ichnology of Latin America – selected papers*. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Paleontologia, Monografias da Sociedade Brasileira de Paleontologia, 2, 196 p., p. 141-157.
- Frank, H.T.; Lima, L.G.; Gerhard, N.P.; Caron, F.; Buchmann, F.S.C.; Fornari, M. & Lopes, R.P. 2013. Description and Interpretation of Cenozoic Vertebrate Ichnofossils in Rio Grande do Sul State, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 16(1): 83-96.
- Gradim, R.J.; Alkmin, F.F.; Pedrosa-Soares, A.C.; Babinski, M. & Noce, C.M. 2005. Xistos verdes do Alto Araçai, Minas Gerais: Vulcanismo básico do rifte Neoproterozoico Macaúbas. *Revista Brasileira de Geociências*, 35(4-suplemento): 59-69.
- Kraglievich, J. 1952. El perfil geológico de Chapadmalal y Miramar, Prov. de Buenos Aires. *Revista del Museo de Ciencias Naturales y Tradicionales*, 1(1): 8-37.
- Lima, L.G.; Frank, H.T.; Caron, F.; Lopes, R.P.; Buchmann, F.C.S. & Fornari, M. 2010. A New Pattern of Digging Marks in Large Palaeovertebrate Tunnels. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Paleontologia - PALEO 2010, Seção RS, 9-10 de dezembro de 2010, Porto Alegre. *Resumos...* 1 CD-ROM.
- Machado, N.; Schrank, A.; Abreu, F.R.; Knauer, L.G. & Almeida-Abreu, P.A. 1989. Resultados preliminares da geocronologia U-Pb na serra do Espinhaço Meridional. *Boletim do Núcleo Minas Gerais – Sociedade Brasileira de Geologia*, 10: 171-174.
- Martins, M.S.; Karfunkel, J.; Noce, C.M.; Babinski, M.; Pedrosa-Soares, A.C.; Sial, A.N. & Lyu, D. 2008. A sequencia pré-glacial do Grupo Macaúbas na área-tipo e o registro da abertura do rifte Araçai. *Revista Brasileira de Geociências*, 38: 768-779.
- Noce, C.M.; Pedrosa-Soares, A.C.; Grossi-Sad, J.H.; Baars, F.J.; Guimarães, M.L.V.; Mourão, M.A.A.; Oliveira, M.J.R. & Roque, N.C. 1997. Nova divisão estratigráfica regional do Grupo Macaúbas na faixa de Araçai: Registro de uma bacia Neoproterozóica. *Boletim do Núcleo Minas Gerais – Sociedade Brasileira de Geologia*, 14: 29-31.

Noce, C.M.; Pedrosa-Soares, A.C.; Grossi-Sad, J.H.; Baars, F.J.; Guimarães, M.V.; Mourão, M.A.A.; Oliveira, M.J.R. & Roque, N.C. 1997. Nova subdivisão Estratigráfica regional do Grupo Macaúbas na Faixa Araçuaí: O Registro de uma bacia Neoproterozóica. *Boletim do Núcleo Minas Gerais-Sociedade Brasileira de Geologia*, 14: 29-31.

Ogando, R.; Frank, H.T.; Buchmann, F.C.S.; Fornari, M.; Caron, F.; Lima, L.G. & Lopes, R.P. 2011. Características cársticas generadas en terrenos graníticos a partir de túneles de paleovertebrados de la Megafauna de América del Sur. In: Encuentro Uruguayo de Espeleología, 3. Montevideo, Octubre 2011. *Anais*.

Ogando, R.; Frank, H.T.; Lima, L.G.; Caron, F.; Buchmann, F.C.S.; Fornari, M. & Lopes, R.P. 2010. Paleocuevas en la región de la Formación Tacuarembó (Cuenca del Paraná), Uruguay. In: II Encuentro Uruguayo de Espeleología, Montevideo, Setiembre 2010. *Anais...*

Paula-Couto, C. 1973. Edentados fósseis de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 45(2): 261-275.

Paula-Couto, C. 1980a. Um tatu gigante do Pleistoceno de Santa Catarina. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 52(3): 527-531.

Paula-Couto, C. 1980b. *Propraopus punctatus* (Lund, 1840) no Pleistoceno de Cerca Grande, Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 52(2): 323-325.

Paula-Couto, C. 1982. Pleistocene armadillo from Cantagalo, State Rio de Janeiro. *Iheringia*, série geológica, 7: 65-68.

Pedrosa-Soares, A.C.; Noce, C.M.; Vidal, P.H.; Monteiro, R.L.B.P. & Leonardos, O.H. 1992. Towards a new tectonic model for the Late Proterozoic Araçuaí (SE-Brazil) - West Congolian (SW African) belt. *Journal of South American Earth Sciences*, 6(1/2): 33-47.

Pedrosa-Soares, A.C.; Noce, C.M.; Alkmin, F.F.; Silva, L.C.; Babinski, M.; Cordani, U. & Castaneda, C. 2007. Orógeno Araçuaí: Síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. *Geonomos*, 15(1): 1-16.

Quintana, C. A. 1992. Estructura interna de una paleocueva, posiblemente de un Dasypodidae (Mammalia, Edentata) del Pleistoceno de Mar del Plata (provincia de Buenos Aires, Argentina). *Ameghiniana*, 29(1): 87-91.

Silva, L.C.; Pedrosa-Soares, A.C. & Teixeira, L.R. 2008. Tonian rift-related, A-type continental plutonism in the Araçuaí orogeny, Eastern Brazil: New evidences for the breakup stage of the Sao Francisco-Congo paleocontinent. *Gondwana Research*, 13: 527-537.

Stevaux, R.; Frank, H.T.; Lima, L.G.; Caron, F.; Buchmann, F.C.S.; Fornari, M. & Lopes, R.P. 2010. Palaeovertebrate tunnel pattern in granitic terrains: an example from Viamão (state of Rio Grande do Sul, Brazil). In: Simposio Latinoamericano de Icnología, São Leopoldo, novembro 2010. *Resúmenes/Abstracts...* p. 60.

Sick, H. 2001. *Ornitologia Brasileira*. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira. 912 p.

Uhlein, A.; Trompette, R.R. & Egydio-Silva, M. 1998. Proterozoic rifting and closure, SE border of the São Francisco Craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 11(2): 191-203.

Uhlein, A.; Trompette, R.R.; Egydio-Silva, M. & Vauchez, A. 2007. A Glaciação Sturtiana (750 MA), a Estrutura do Rifte Macaúbas-Santo Onofre e a Estratigrafia do Grupo Macaúbas, Faixa Araçuaí. *Geonomos*, 15(1): 45-60.

Vilela, F.T. 2010. *Caracterização de metadiamicritos ferruginosos da Formação Nova Aurora (Grupo Macaúbas, Orógeno Araçuaí) a oeste de Salinas, MG*. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Geociências. 135 p.

Vilela, O.V. 1986. *As jazidas de minério de ferro dos municípios de Porteirinha, Rio Pardo de Minas, Riacho dos Machados e Grão-Mogol, norte de Minas Gerais*. In: Schobbenhaus C. & Coelho C.E.S. *Principais Depósitos Mineraiis do Brasil: Ferro e Metais da Indústria do Aço*, 2. p. 111-120.

Vilela, O.V.; Pena, C.A.; Barsotti, T.M. & Jorge, A.S. 1978. *Prospecção das jazidas de minério de ferro dos municípios de Porteirinha, Rio Pardo de Minas, Riacho dos Machados e Grão-Mogol, norte de Minas Gerais*. Congresso Brasileiro de Geologia. 20, Recife. *Anais...* p. 1914-1921.

Vizcaíno, S.F.; Zárate, M.; Bargo, M. S. & Dondas, A. 2001. Pleistocene burrows in the Mar del Plata area (Argentina) and their probable builders. *Acta Palaeontologica Polonica*, 46: 157-169.

Viveiros, J.F.M.; Sá, E.L.; Vilela, O.V.; Santos, O.M. & Moreira, J.M.P. 1979. Geologia dos vales dos Rios Peixe Bravo e Alto Vacaria. Norte de Minas Gerais. Atas 1º Simpósio Geologia de Minas Gerais. SBG – Núcleo MG, *Boletim 1*: 75-87.

Zárate, M.A. & Fasano, J.L. 1989. The Plio-Pleistocene Record of the central eastern Pampas, Buenos Aires province, Argentina: The Chapadmalal case study. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 72: 27-52.

Zárate, M.A.; Bargo, M.S.; Vizcaíno, S.F.; Dondas, A. & Scaglia, O. 1998. Estructuras biogénicas en el Cenozoico tardío de Mar del Plata (Argentina) atribuibles a grandes mamíferos. *Revista AAS - Associação Argentina de Sedimentología*, 5(2): 95-103.

SÍTIOS GEOLÓGICOS E PROPOSTAS BRASILEIRAS DE GEOPARQUES EM GEOSSISTEMAS FERRUGINOSOS

Úrsula de Azevedo Ruchkys

Introdução

Da mesma forma que a biodiversidade corresponde à diversidade da natureza viva, a geodiversidade corresponde à variedade de materiais geológicos (minerais, rochas, fósseis e solos) e de estruturas (sedimentares, tectônicas, geomorfológicas e petrológicas) que constituem o substrato físico natural de uma região e que suporta a biodiversidade. Alguns dos elementos da geodiversidade e da biodiversidade são utilizados como recursos pela humanidade. No caso do Brasil, os recursos naturais têm sido alvo de intensa utilização desde o período colonial, inicialmente com a exploração do pau-brasil.

Sobre o ferro, as primeiras notícias de sua ocorrência foram dadas pelo Padre José de Anchieta que, em uma carta para o rei de Portugal, faz referência sobre existência deste metal na então Capitania de São Vicente (atual São Paulo). Os primeiros registros da produção artesanal inicial do ferro no país são do século XVI, tendo sido feita por um noviço jesuíta chamado Mateus Nogueira e por Afonso Sardinha.

Na natureza, os principais minerais que contém ferro são: óxidos (hematita/ F_2O_3 , magnetita/ Fe_3O_4), carbonatos (siderita/ $FeCO_3$ e ankerita/ $Ca(Mg,Fe)(CO_3)_2$), silicatos (greenalita/ $(Fe^{+2},Fe^{+3})_2-3Si_2O_5(OH)_4$) e sulfeto (pirita/ Fe_2S). Os principais depósitos ocorrem associados ao conjunto de formações ferríferas, que incluem: itabiritos, jaspilitos e outras rochas com concentração de ferro precipitadas química ou bioquimicamente. Ainda merecem destaque as lateritas ferruginosas, também denominadas regionalmente de canga, couraças ferruginosas formadas pelo processo de intemperismo de itabiritos. Todos os litotipos ferruginosos, incluindo a canga, caracterizam os geossistemas ferruginosos.

As formações ferríferas e a canga têm sido abordadas na literatura sob vários ângulos, principalmente em relação a seu valor econômico. Nos últimos anos vêm sendo reconhecidos outros valores associados aos geossistemas ferruginosos, em diversas áreas do conhecimento que atestam seu valor patrimonial: biológico (Ferreira, 2005; Carmo, 2010), arqueológico (Baeta, 2011), geológico (Ruchkys, 2007; Ruchkys *et al.*, 2009; Ruchkys *et al.*, 2012), espeleológico (CECAV, 2011; Pereira, 2012; Calux, 2013), paleontológico (Carmo *et al.*, 2011), hidrogeológico (Mourão, 2007), entre outros.

Considerando os aspectos associados ao patrimônio geológico, os litotipos ferruginosos têm grande importância, pois guardam parte da memória da história geológica da Terra. Nesta perspectiva, este capítulo tem como objetivo apresentar a geodiversidade associada a estas rochas, bem como um panorama sobre os geossistemas ferruginosos do Brasil, focalizando, num segundo momento, os sítios geológicos nesses geossistemas incluídos na Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP). Por fim, é realizada uma análise sobre as propostas brasileiras de geoparques que têm geossítios em litotipos ferruginosos.

Panorama das províncias em geossistemas ferruginosos do Brasil

No Brasil, a maioria dos geossistemas ferruginosos ocorre nos Estados de Minas Gerais, Pará, Bahia e Mato Grosso do Sul. Em 1952, durante o XIX Congresso Internacional de Geologia realizado em Argel, foram apresentadas, no “*Symposium do Ferro*”, as jazidas de ferro do país, quando foram destacadas também as ocorrências dos Estados de Goiás e São Paulo (Moraes *et al.* 1953). Em Minas Gerais, os geossistemas ferruginosos estão presentes no Quadrilátero Ferrífero (região metropolitana de Belo Horizonte), na borda leste da Serra do Espinhaço (próximo às cidades de Serro e Conceição do Mato Dentro) e ao longo do vale do Rio Peixe Bravo (norte do Estado, próximo a Porteirinha).

O Quadrilátero Ferrífero (QF) localiza-se na porção centro-sudeste do Estado de Minas Gerais, ocupando uma área aproximada de 7.000 km². Segundo Dorr (1969), esta região foi assim denominada por Gonzaga de Campos devido aos depósitos de minério de ferro que ocorrem numa área que tem como vértices as cidades de Itabira, a nordeste, Mariana, a sudeste, Congonhas, a sudoeste, e Itaúna, a noroeste, envolvendo, além da Capital do Estado, várias cidades originadas da atividade minerária, entre elas Nova Lima, Sabará, Santa Bárbara, Itabirito e Ouro Preto. No Quadrilátero Ferrífero as ocorrências de litotipos ferruginosos se distribuem no Arqueano (Supergrupo Rio das Velhas), Proterozoico (Supergrupo Minas) e Cenozoico (Formação Chapada de Canga). No Arqueano, ocorrem formações ferríferas as quais estão relacionadas às mineralizações auríferas do Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas; no Proterozoico, a Formação Cauê do Grupo Itabira, Supergrupo Minas; e no Cenozoico, lateritas ferruginosas na Formação Chapada de Canga (Sant’Anna *et al.* (1997)). Várias minas de ferro a céu aberto estão em atividade na região e o itabirito predomina de longe sobre outras formas de minério. Rosière (2015) afirma que os itabiritos se caracterizam por ampla variedade mineralógica, com a presença de anfibólios e carbonatos (dolomita, ankerita, calcita) e a presença constante de quartzo.

Conforme Renger & Knauer (1995), na Serra do Espinhaço e adjacências ocorrem formações ferríferas bandadas (*BIFs*) de diversas idades (do Arqueano ao Neoproterozoico), nos grupos Guanhões, Pedro Pereira, Riacho dos Machados, Costa Sena, Serra da Serpentina, Guinda (Formação Itapanhoacanga) e Macaúbas (Formação Nova Aurora). Segundo Almeida (2008), as serras da Ferrugem e da Serpentina, nas vizinhanças de Conceição do Mato Dentro, expõem dois níveis de itabiritos intercalados em meio a uma sucessão de filitos, sericita, xistos e quartzitos

micáceos, com ocorrência local de filitos grafitosos e níveis de óxido de manganês. O nível inferior de itabiritos sustenta o relevo da Serra da Ferrugem, enquanto o superior sustenta a Serra da Serpentina. Corpos descontínuos de hematita compacta ocorrem na crista da Serra da Serpentina, no mesmo nível estratigráfico dos itabiritos. Rosière (2015) coloca que todos os depósitos desta região têm baixo teor em ferro (30-35% de Fe total), mas baixos teores de contaminantes. Além dos depósitos da Serra da Serpentina, o autor cita as ocorrências da Serra do Sapo e do Morro do Pilar. Todos os três apresentam características mineralógicas e químicas muito semelhantes, mantendo uma mineralogia muito simples: quartzo, hematita e magnetita.

No norte do Estado, ocorrem jazidas de minério de ferro nos municípios de Porteirinha, Rio Pardo de Minas, Riacho dos Machados e Grão Mogol. Segundo Vilela (1986), o principal curso de água da área é o Rio Peixe Bravo, e a primeira referência às ocorrências de ferro na região data de 1964. O ferro ocorre na forma de rochas hematíticas associadas ao Membro Riacho dos Poções do Grupo Macaúbas, Supergrupo São Francisco. São descritos diamictitos hematíticos com intercalações de quartzitos hematíticos, sendo que certos níveis, de até 15 metros de espessura, intercalados nos diamictitos hematíticos, apresentam enriquecimento em ferro. O autor ainda salienta que essa sequência de rochas hematíticas apresenta-se, em grande parte, sob uma cobertura de canga composta principalmente por limonita pura, cuja espessura chega a atingir 20 metros, e transiciona para um solo laterítico ferruginoso.

A província em geossistema ferruginoso de Carajás localiza-se na porção sudeste do Cráton Amazônico. A Serra dos Carajás destaca-se na paisagem, atingindo até 800 metros com relevo montanhoso e dissecado em escarpas. Nesta província as ocorrências de formações ferríferas se distribuem no Arqueano no Grupo Grão-Pará, característico de uma sequência meta-vulcano-sedimentar. Segundo Moraes *et al.* (2009), o Grupo Grão-Pará é composto por três unidades principais, sendo que a unidade intermediária foi denominada de Formação Carajás por Tolbert *et al.* (1971), e é constituída principalmente por formação ferrífera bandada, com alternância de lentes de jaspilite. Conforme Rosière (2015), jaspilite (ou jaspelito) é o termo usado para nomear formações ferríferas contendo jaspe e óxidos de ferro, sendo jaspe uma variedade de *chert* com finas inclusões de hematita que lhe conferem a cor vermelha. Em Carajás, ocorrem grandes corpos de minério de alto teor (teor de ferro maior que 65%) composto por magnetita/martita e hematita.

No Mato Grosso do Sul está a província em geossistema ferruginoso do Urucum. Nesta província, as formações ferríferas ocorrem na Formação Santa Cruz, Grupo Jacadigo, de idade Neoproterozoica, sendo caracterizadas por hematita e lentes de óxido de manganês. Segundo Rosière (2015), a composição das formações ferríferas é predominantemente hematítica, apresentando uma fina laminação definida pela alternância de *chert*/quartzo e com concreções de SiO₂. Essas rochas sofreram enriquecimento supergênico no Cenozoico com o desenvolvimento de níveis de minério de alto teor (até 67% de ferro), paralelos à atual superfície de erosão.

Moraes *et al.* (1953) ainda relatam a existência das seguintes zonas ferríferas do Brasil: em Minas Gerais, na Serra da Penha (em Capelinha), povoado de Morro do Ferro (nos municípios de Oliveira e Passa Tempo), Morro de Ferro (em Jacuí); no Amapá, no Distrito de Santa Maria; na Bahia, no vale do São Francisco, nas localidades de Pedra do Ernesto, Tombador e Tapera (onde

os autores descrevem também a ocorrência de canga de baixo teor), Caitité e Urandi, com hematita e itabirito, e Jequié, onde a maior parte do minério consiste em canga; em Goiás, nas proximidades de Catalão e de Pirenópolis; no Ceará, em Itaúna, no município de Camocim; em São Paulo, no Morro do Serrote, na região de Juquiá-Registro e em Jacupiranga; no Paraná, os distritos do litoral, de Rio Branco do Sul e Cerro Azul. Por fim, os autores relatam a ocorrência de zona ferrífera em Santa Catarina, onde as jazidas se concentram na região de Joinville.

Geodiversidade associada ao ferro

Para Gray (2004), a geodiversidade compreende minerais, rochas, fósseis, estruturas de diversas origens, estruturas sedimentares, paisagens e processos sedimentares e geomórficos ativos, além das águas subterrâneas e dos solos derivados do intemperismo das rochas. Esse conjunto de elementos geológicos da natureza possui, além de seu valor intrínseco ou de existência, valores culturais (influência sobre folclore, arquitetura, história e religião), estéticos (oportunidade de lazer, contemplação, inspiração para a arte), econômicos (recursos minerais e energéticos), funcionais (sobretudo como substrato para os ecossistemas), científicos e educacionais.

A geodiversidade associada ao ferro caracteriza um geoecossistema único que nos oferece vários tipos de serviços: fonte de informações para o avanço do conhecimento científico; instrumento e veículo para educação e difusão cultural; base para desfrute estético e recreativo; base para o desenvolvimento da vida; serviços associados à água; fonte de matéria-prima para o desenvolvimento industrial, entre outros.

Segundo Ruchkys & Machado (2015), tantos serviços decorrentes das características da geodiversidade associada ao ferro tornam as regiões onde ocorrem, espaços de conflitos e interesses contraditórios. Por um lado, há a necessidade de conservação da geodiversidade e, por outro, a necessidade de uso, com destaque para atividade extrativa mineral, já que o ferro é matéria-prima para o desenvolvimento industrial. Na perspectiva dos valores da geodiversidade associadas ao ferro, podemos, então, elencar:

Valor econômico: A importância deste bem mineral foi salientada por Gorceix em 1875, quando se reporta ao passado para mostrar que o aproveitamento dos elementos naturais é condizente com os tempos modernos, assim como sempre foi nas prósperas sociedades antigas: *em todas as épocas e em todos os povos a exploração das riquezas minerais enterradas no solo tem sido objeto da mais viva solicitude do governo.* A indústria da mineração do ferro tem grande importância econômica no Brasil. Segundo o Sumário Mineral Brasileiro do Departamento Nacional de Pesquisa Mineral - DNPM de 2013 (relativa aos dados de 2012), as reservas lavráveis brasileiras, com um teor médio de 50,3% de ferro, representam 11,7% das reservas mundiais. Os principais estados brasileiros detentores de reservas de minério de ferro são: Minas Gerais (70,0% das reservas e teor médio de 46,9% de Fe), Mato Grosso do Sul (15,3% e teor médio de 55,4%) e Pará (13,1% e teor médio de 64,8%). O valor de sua produção atingiu, em 2012, R\$ 55,4 bilhões, com extração de 400,8Mt (milhões de toneladas). A arrecadação da Compensação Financeira

pela Exploração de Recursos Minerais - CFEM, referente ao minério de ferro, em 2012, foi de R\$ 1,32 bilhão (71,8% da arrecadação total deste imposto).

Valor funcional: Em relação ao valor funcional associado aos geossistemas ferruginosos, têm sido crescentes as pesquisas que demonstram sua importância para o desenvolvimento da vida, mostrando que esse tipo de ambiente abriga comunidades de plantas e invertebrados caracterizadas por alta taxa de endemismo. Carmo (2010) e Carmo *et al.* (2012) apontam que, no Quadrilátero Ferrífero, existem pelo menos 89 espécies de plantas com alto valor para a conservação, com várias destas espécies raras e ameaçadas ocorrendo exclusivamente em cangas da região. Em Carajás, Martins *et al.* (2012) colocam que nas carapaças lateríticas, em áreas isoladas nas partes mais altas dos trechos norte e sul da Serra dos Carajás, ocorre vegetação herbácea ou arbustiva com diferentes comunidades florísticas que constituem uma peculiaridade da região. Em Mato Grosso, nas Morrarias de Urucum, Takahasi (2010) desenvolveu um estudo sobre a vegetação associada a geossistemas ferruginosos, determinando as condições ambientais nas quais essas espécies sobrevivem. Para a autora, a similaridade florística entre os diversos afloramentos rochosos do Brasil é o resultado das condições climáticas/paleoclimáticas e das peculiaridades geológicas e geomorfológicas.

Em relação ao valor funcional da geodiversidade associada aos litotipos ferruginosos, merece destaque também a questão hídrica. Em estudo realizado no Quadrilátero Ferrífero, Mourão (2007) mostrou que estes geossistemas são importantes mananciais de água e, de modo geral, associam-se às ocorrências de minério no entorno das minas de ferro importantes surgências de água subterrânea.

Valor cultural: O valor cultural da geodiversidade associada a estas rochas está, em grande parte, relacionado à ocorrência de cavidades naturais subterrâneas nestas litologias que eram utilizadas pelos povos antigos como moradia e abrigo. Segundo Magalhães (2006), as datações mais antigas para a presença humana na Amazônia, incluindo aí as datações dos sítios de Carajás, são de sociedades de caçadores-coletores que viviam em grutas de canga localizadas nas bordas dos platôs. Baeta & Piló (2015), citando Girelli (1994), afirmam que há duas formas de representação das gravuras, elaboradas por picoteamento, raspagem e/ou polimento nas bancadas lateríticas do Maciço de Urucum. Baeta & Piló (2005) encontraram vestígios arqueológicos pré-históricos líticos e cerâmicos nas cavernas ferruginosas do Quadrilátero Ferrífero, levantando a questão de que, independente da sua dimensão, também pode haver testemunhos da passagem e ocupação humana, a partir dos últimos milênios nestas cavernas. Na atualidade, o valor cultural associado ao ferro pode ser visto, entre outras coisas, na fabricação de diversas formas de artesanato, como esculturas, objetos utilitários e de adorno pessoal. Na feirinha de artesanato da cidade de Ouro Preto-MG, podem ser encontrados colares e pulseiras feitas com matéria-prima de minerais de ferro, como a hematita. Na construção civil, é comum observar muros construídos com canga, que também pode ser usada como material de ornamentação paisagística. Um exemplo desse uso é a exposição “Som da Terra” (*Sonic Pavilion*), no Centro de Arte Contemporânea Inhotim, em Brumadinho, onde blocos de canga foram usados do lado de fora da exposição, promovendo harmonia paisagística da obra com a natureza.

Valor científico e educacional: Em estudo realizado por Ruchkys (2007) no Quadrilátero Ferrífero, é apontado o valor científico associado aos litotipos ferruginosos. A autora destaca a importância da conservação de afloramentos de itabiritos e canga para entendimento da evolução geocológica da Terra e propõe a criação de um Geoparque sob os auspícios da UNESCO para valorização e utilização educativa e turística do patrimônio geológico do Quadrilátero Ferrífero. O valor científico associado a estas rochas também se deve à ocorrência de cavidades naturais subterrâneas, cujos estudos vêm sendo crescentes nos últimos anos. No Quadrilátero Ferrífero, merecem destaque as pesquisas de Auler & Piló (2005), Pereira (2012), Calux (2013), entre outros. A respeito da região do Quadrilátero Ferrífero, será lançada, neste ano, uma obra organizada pela Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE) que trata especificamente do patrimônio espeleológico em geossistemas ferruginosos. No norte de Minas, no município de Conceição do Mato Dentro, Leão *et al.* (2011) identificaram 30 cavidades alojadas em rochas ferríferas na Serra do Sapo.

Em Carajás estão sendo descritas cavernas ferruginosas com feições associadas ao esvaziamento mecânico do substrato, criando zonas de abatimentos doliniformes, assim como a formação de cavernas preferencialmente nas bordas de rupturas dos platôs (Piló & Auler, 2009). Valentim & Olivito (2011) propuseram a unidade espeleológica de Carajás, na qual delimitaram nove unidades geomorfológicas: UG Serra Norte; UG Serra Sul; UG Serra da Bocaina; UG Serra Leste; UG Cristalino; UG Serra Arqueada; UG Serra de São Felix; UG Aquiri; e UG Serra do Cinzento. Na figura 1, são apresentadas imagens sobre os diferentes valores da geodiversidade associada aos litotipos ferruginosos.

Do exposto, percebe-se que são vários os valores da geodiversidade associados aos litotipos ferruginosos. Destaca-se que os laços entre o homem e a geodiversidade são muitas vezes fortalecidos por questões econômicas, quando a vida das comunidades é dependente desses georrecurso. Além disto, os elementos da geodiversidade associados ao ferro têm um elevado potencial educativo, cultural e recreativo, relacionando-se assim ao conceito de patrimônio, o que justifica a necessidade e importância de medidas de conservação e valorização.

Sítios geológicos em geossistemas ferruginosos

No Brasil, as preocupações com o reconhecimento do patrimônio geológico tiveram início com a criação da Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos – SIGEP, em março de 1997. Entre as diversas instituições que apoiam a SIGEP, estão a Academia Brasileira de Ciências - ABC, a Associação Brasileira para Estudos do Quaternário - ABEQUA, o Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN, o Serviço Geológico do Brasil - CPRM, a Sociedade Brasileira de Espeleologia - SBE, a Sociedade Brasileira de Geologia - SBGeo e a Sociedade Brasileira de Paleontologia - SBP. Além destas, nos últimos anos, novas instituições passaram a integrar a SIGEP: Instituto Brasileiro de Geografia e



Figura 1 - Valores da geodiversidade associados aos geossistemas ferruginosos: (A) econômico - minas de ferro em Carajás; (B) funcional - suporte para biodiversidade e presença de mananciais de água; (C) científico-educacional - afloramentos que testemunham a história geocológica da Terra, e (D) cultural - inscrições em carapaças ferruginosas em Urucum. Fotos: (A) Rosaline Silva, (B) Úrsula Ruchkys, (C) Adriana Takahasi e Úrsula Ruchkys; (D) Fábio Guimarães Rolim.

Estatística - IBGE; Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio; Petróleo Brasileiro SA - Petrobras; União da Geomorfologia Brasileira - UGB.

Em 2002, a SIGEP lançou um livro com a descrição de 58 sítios geológicos do Brasil. Em 2009, foi lançado o volume II com 40 sítios, e já está disponível no site da SIGEP o *pré-print* do volume III, com 18. Nestas quase duas décadas de atuação, já foram inventariados e descritos 116 sítios geológicos e paleobiológicos de importância científica em todo o território nacional. Além dos sítios já descritos, a SIGEP mantém uma lista com propostas aprovadas, sendo 18 com autores confirmados e 33 disponíveis para descrição.

Desde 2012 está suspenso o encaminhamento de novas propostas de geossítios por determinação do Ministério de Minas e Energia, que publicou a Portaria 170 de 20 de junho de 2012, referente à criação do Grupo de Trabalho Interministerial de Sítios Geológicos e Paleontológicos. Segundo Carlos Schobbenhaus, Presidente da SIGEP, esta portaria e a consequente suspensão de novas propostas se justificam para que “A Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos - SIGEP seja oficialmente instituída e possa exercer, de fato, as suas competências de direito no âmbito do Poder Público, passando a ter capacidade de adotar medidas legais para a proteção dos geossítios”.

A análise dos geossistemas ferruginosos que constam na lista da Comissão Brasileira dos Sítios Geológicos e Paleobiológicos – SIGEP, em diferentes categorias (Tabela 1), demonstra que representam um pequeno número de propostas. No primeiro volume, foram consideradas nove categorias de sítios geológicos de acordo com sua descrição: paleontológicos, paleoambientais, sedimentológicos, geomorfológicos, marinhos, ígneos, espeleológicos, história da geologia e astroblema. No segundo volume, foram consideradas doze categorias, incluindo, além daquelas listadas acima, os seguintes tipos de sítios: marinhos, tectônicos, hidrogeológicos. A categoria *sítios da história da geologia* passou a ser denominada de *sítios da história da geologia e da mineração*, no segundo volume, e de *sítios da história da geologia, da paleontologia e da mineração*, no terceiro volume.

Tabela 1 – Sítios em geossistemas ferruginosos que constam da lista da Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos - SIGEP.

Sítio	Localização	Categoria do sítio	Status do sítio
Bacia do Fonseca	Quadrilátero Ferrífero, MG	Paleontológico	Descrito no Volume I
Pico de Itabira	Quadrilátero Ferrífero, MG	História da geologia e da mineração	Descrito no Volume II
Serra da Piedade	Quadrilátero Ferrífero, MG	História da geologia e da mineração	Descrito no Volume II
Morraria do Urucum	Corumbá, MS	Estratigráfico; metalogenético; paleoambiental	Aprovado e disponível para descrição
Carste laterítico na Serra do Carajás	Serra de Carajás, PA	Espeleológico	Sugestão preliminar

No volume I, foi publicado o primeiro sítio em geossistema ferruginoso com o título: *Fonseca, vegetais fósseis do Terciário brasileiro*, de autoria de Mello *et al.* (2002). Mesmo considerando que a aprovação deste sítio na SIGEP seja devida à presença de fósseis cenozoicos, a ocorrência de cangas no mesmo contexto da bacia permite sua inclusão como sítio em geossistema ferruginoso. A bacia de Fonseca, situada na região do Quadrilátero Ferrífero, no Estado de Minas Gerais, constitui um clássico exemplo de sedimentos terciários, tendo despertado o interesse de vários pesquisadores, desde a segunda metade do século passado, por conter depósitos de canga, linhito e sedimentos fossilíferos. Os autores descrevem a excepcional riqueza de fósseis vegetais desta pequena bacia, com grande variedade de famílias de Angiospermas, sendo Melastomataceae e Mimosaceae as mais abundantes. O fóssil mais notável é uma flor pertence à Família Bombacaceae, o primeiro registro de uma flor fóssil no Cenozoico do Brasil. Os sedimentos da Formação Fonseca encontram-se recobertos por lateritas ferruginosas que sustentam importantes platôs na área da bacia. Sant'Anna *et al.* (1997) e Sant'Anna & Schorscher (1997) denominaram estes depósitos como Formação Chapada de Canga, dissociando-os da evolução geológica da bacia de Fonseca.

No segundo volume do livro *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*, foram descritos dois sítios em geossistemas ferruginosos, ambos na categoria *história da geologia e da mineração*. Estes sítios encontram-se também no Quadrilátero Ferrífero, uma das principais províncias metalogenéticas do país, com inegável vocação mineira atestada, desde o final do século XVII, com a descoberta do ouro em Ouro Preto e Sabará. Os sítios foram assim denominados: *Pico de Itabira, marco estrutural, histórico e geográfico do Quadrilátero Ferrífero*, de autoria Rosière *et al.* (2009), e *Serra da Piedade, da lenda do Sabarabuçu ao patrimônio histórico, geológico, paisagístico e religioso*, de autoria de Ruchkys *et al.* (2009).

O Pico de Itabira (atualmente conhecido como Pico de Itabirito) apresenta-se como importante marco geográfico e paisagístico da região, tendo inicialmente servido como referência aos bandeirantes na busca do ouro das Gerais, devido ao seu ressalto topográfico. Rosière *et al.* (2009) o descrevem como um corpo maciço de minério de ferro compacto com alto teor (cerca de 67% Fe), constituído mineralogicamente de hematita (Fe_2O_3) e alguma magnetita (Fe_3O_4). A geração do minério foi feita por enriquecimento da rocha ferrífera sedimentar (teor original 30-45% Fe), através de reações e processos químicos, envolvendo fluidos quentes (hidrotermais). Segundo Ruchkys (2007), a imponência do pico fez com que fosse incluído, juntamente com o Pico do Itacolomi e a Serra do Caraça, na Carta da Capitania de Minas Gerais, feita por Eschwege em 1822 e apresentada no 1º volume do *Pluto Brasilienses*; também foi ilustrado por F.J. Stephan em 1840.

Na Serra da Piedade afloram rochas do Supergrupo Minas, a saber: itabiritos (formações ferríferas) da Formação Cauê (Grupo Itabira) e filitos da Formação Cercadinho (Grupo Piracicaba). A crista da Serra da Piedade é formada pelos itabiritos da Formação Cauê, cujos afloramentos atingem, na serra, grande espessura, bem expressiva em termos didáticos e científicos. Os proponentes do sítio salientam que os itabiritos se encontram em grande extensão recobertos por uma superfície de canga que ajuda a sustentar o relevo. Para os autores, a Serra da

Piedade é um importante e magnífico testemunho da evolução da Terra e da história da mineração do Brasil, que deve ser preservado.

O sítio *Morrarias do Urucum: formações ferríferas do final do Pré-Cambriano*, localizado em Corumbá, Mato Grosso do Sul, foi inicialmente proposto por Carlos José de Souza Alvarenga, Paulo César Boggiani, Marcel Auguste Dardenne e Thomas Rich Fairchild. Trata-se de jaspilitos ferruginosos e óxidos de manganês com vestígios de glaciação neoproterozoica e grande beleza cênica. O *status* do sítio no site da SIGEP é *proposta aprovada e disponível para descrição*.

Por fim, no *site* da SIGEP, a última referência de sítios em geossistemas ferruginosos é o denominado *Carste laterítico da Serra do Carajás*, no Pará, tendo sido inicialmente proposto na categoria *espeleológico*. Trata-se uma sugestão preliminar, encaminhada por geocientista ou outros interessados para, eventualmente, ser formalizado. Além desta informação não existe nenhuma outra disponível no *site* da SIGEP. Na figura 2, são apresentadas algumas imagens de sítios geológicos em geossistemas ferruginosos referenciados pela SIGEP.

Existe ainda um sítio descrito em geossistema ferruginoso, não incluído na SIGEP, na categoria *espeleológico*: Rio do Peixe Bravo, Minas Gerais, proposto por Carmo *et al.* (2011). O sítio localiza-se no Vale do Rio Peixe Bravo, região de Riacho dos Machados, no Estado de Minas Gerais. Segundo os autores, localmente o geossistema cangas/formações ferríferas está associado ao membro Riacho Poções (Formação Nova Aurora). Essa unidade atinge uma espessura de até 600 metros, sendo constituída predominantemente por diamictitos hematíticos, quartzitos hematíticos e xistos hematíticos subordinados. Sobrepondo essa sequência, está uma cobertura de canga que frequentemente atinge cerca de 30 m de espessura. Foram observadas e descritas cerca de 60 cavidades, desenvolvidas nos geossistemas ferruginosos, algumas com presença de espeleotemas, tendo também sido relatada a ocorrência de marcas semelhantes aos registros de garras (iconofósseis) descritos em paleotocas do sul e sudeste do Brasil. A descrição apresentada pelos autores indica a grande importância patrimonial deste sítio em geossistema ferruginoso, que já havia sido referenciado por Moraes *et al.* (1953).

Dada a importância dos geossistemas ferruginosos, a lista dos sítios contemplados na SIGEP pode ser considerada pouco representativa e não esgota a ocorrência de sítios nestes geossistemas em termos nacionais. Exemplos como o Rio do Peixe Bravo (MG), o Carste laterítico de Carajás e o sítio geológico das Morrarias de Urucum (MS), ainda disponível para descrição, estão entre aqueles que merecem destaque no âmbito nacional e mundial, e demonstram que a lista dos sítios geológicos na SIGEP pode ser complementada, incluindo também outros possíveis sítios nos demais geossistemas ferruginosos do Brasil.

Geossistemas ferruginosos nas propostas brasileiras de geoparques

As rochas, os minerais, o relevo e a paisagem sempre tiveram grande influência sobre a sociedade, a civilização, a diversidade cultural e a vida de nosso planeta, mas até recentemente não havia uma iniciativa específica para reconhecimento do patrimônio geológico da Terra. Em nível mundial, já existe, desde a década de 1950, uma série de instrumentos de proteção do patrimônio desenvolvidos pela UNESCO. Este conjunto particular de iniciativas considera, a exemplo do que ocorre nos cenários nacionais, o patrimônio como um bem público, podendo-se citar, entre outros: *Convenção para a Proteção da Propriedade Cultural em Caso de Conflito Armado*, de 1954; a *Convenção contra o Tráfico Ilícito de Bens Culturais*, de 1970; a *Convenção sobre Patrimônio Cultural “O Homem e a Biosfera”*, de 1971, mais conhecida pela sigla inglesa MAB; a *Convenção sobre Patrimônio Mundial Cultural e Natural*, de 1972; e a *Convenção sobre a Proteção do Patrimônio Cultural Subaquático*, de 2001.

No final da década de 1990, a Divisão das Ciências da Terra da UNESCO tentou desencadear a criação de um programa internacional específico para proteção do patrimônio geológico, como outros já existentes na UNESCO, voltados para outras categorias de patrimônio. Este programa iria utilizar o termo *geoparque*, surgido na Europa em meados desta mesma década. No entanto, como salienta Brilha (2012), por motivos financeiros o Programa nunca foi efetivamente aprovado e implantado pela UNESCO, embora esta Instituição tenha decidido apoiar simbolicamente as iniciativas pontuais que se enquadrem na filosofia inicialmente delineada para o Programa. Assim foi criada a Rede Mundial de Geoparques, sob os auspícios da UNESCO, bem como redes de cooperação regionais, como é o caso da Rede Europeia de Geoparques (REG), a primeira do gênero, criada em 2000 por quatro membros fundadores: Réserve Géologique de Haute-Provence (França), The Petrified Forest of Lesvos (Grécia), Geopark Gerolstein/Vulkaneifel (Alemanha) e Maestrazgo Cultural Park (Espanha).

Segundo o *site* de divulgação do Geoparque Naturtejo (Portugal), em decisão tomada na Assembleia-Geral da UNESCO, realizada em outubro de 2013, onde dezenas de Estados-Membros realçaram a importância dos geoparques enquanto territórios-modelo de desenvolvimento sustentável, foi criado um grupo de trabalho que procura estabelecer a forma como a Rede Global de Geoparques poderá integrar efetivamente a UNESCO por meio da criação oficial do Programa em 2015.

Um geoparque pode ser entendido como um território com limites bem definidos que abriga vários sítios geológicos, locais que são verdadeiros patrimônios, cuja importância científica está no fato de serem registros singulares dos eventos ou processos evolutivos da área, permitindo, portanto, a compreensão da história geológica da Terra. Além disso, um geoparque deve ter como atrativos valores paisagísticos, históricos e culturais que incentivem o geoturismo e, consequentemente, o desenvolvimento sustentável da região. A ideia é aliar conservação do patrimônio geológico, educação ambiental e geoturismo em favor da economia local, sem criar qualquer restrição ao desenvolvimento das mais diversas atividades econômicas dentro dos limites do geoparque, inclusive aquelas que têm como matéria-prima os recursos minerais. Isto é possível



(A) Bacia do Fonseca (MG)



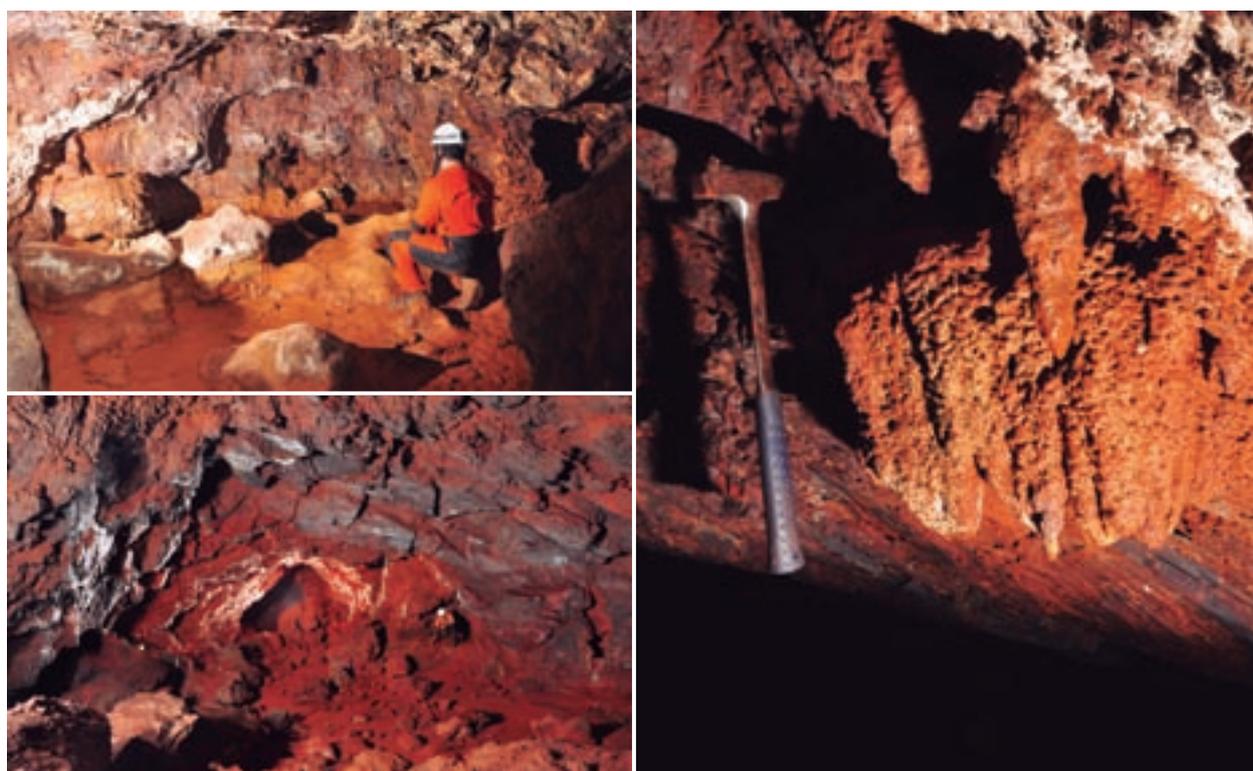
(B) Pico de Itabira (MG)



(C) Serra da Piedade (MG)



(D) Morrarias de Urucum (MS)



(E) Carste laterítico na Serra de Carajás (PA)

Figura 2 - Sítios geológicos em geossistemas ferruginosos referenciados pela SIGEP: (A) Flor e folha fóssil da Bacia do Fonseca e detalhe do afloramento; (B) Pico de Itabira: imagem atual e fotografia de 1956 (autor desconhecido); (C) Itabiritos da Serra da Piedade; (D) Vista geral das Morrarias de Urucum, detalhe do minério de ferro finamente bandado – jaspilito e platô de canga com a Morraria ao fundo; (E) Cavidades em formações ferríferas no Carste Laterítico da Serra de Carajás. Fotos: (A) Mello *et al.* (2002) imagem cedida pela CPRM e Paulo de Tarso Amorim Castro; (B) Miguel Andrade; (C) Úrsula Ruchkys, (D) Paulo Bogiani; Rolim & Theodorovicz (imagem cedida pela CPRM), Adriana Takahasi; (E) Allan Calux.

porque o princípio da geoconservação é pontual, apenas dos geossítios, e não da área como um todo. Assim, como salienta Fonseca (2009), um geoparque não é mais uma categoria de área protegida (parque nacional, parque estadual, estação ecológica etc.), mas outro modo de entender a conservação da natureza.

A proposta conciliadora desse conceito foi ganhando adeptos e importantes iniciativas em prol da geoconservação foram se sucedendo. Em 2015, a Rede Global é constituída por 111 geoparques assim distribuídos: Alemanha (5); Áustria (3); Brasil (1); Canadá (2); China (31); Coreia (1); Croácia (1); Dinamarca (1); Eslovênia (1); Espanha (10); Finlândia (1); França (5); Grécia (4); Hungria (1); Indonésia (1); Irlanda (3); Islândia (1); Itália (9); Japão (7); Malásia (1); Marrocos (1); Noruega (2); Países Baixos (1); Portugal (4); Reino Unido (6); República Checa (1); Romênia (1); Turquia (1); Uruguai (1); Vietnã (1). A lista é composta, ainda, por três geoparques que têm seu território partilhado entre dois países diferentes: Alemanha-Polônia; Hungria-Eslováquia; Eslovênia-Áustria. Desde 2004, a cada dois anos, é realizada a Conferência Mundial de Geoparques onde são apresentados os novos integrantes da Rede Mundial.

No Brasil, o conceito de geoparques começou a ser incorporado em 2006, com a criação do Geoparque Araripe, no Estado do Ceará. Neste mesmo ano, o Serviço Geológico do Brasil lançou o Projeto Geoparques, buscando induzir a criação de geoparques no país. Segundo Schobbenhaus & Silva (2012), neste projeto, a função da CPRM é identificar, levantar, descrever e diagnosticar áreas com potencial para futuros geoparques, incluindo o inventário e a quantificação de geossítios, que representam parte do patrimônio geológico do país. As propostas preliminares de geoparques do Brasil foram apresentadas no livro intitulado *Geoparques do Brasil: propostas*, organizado por Carlos Schobbenhaus e Cássio Roberto da Silva, tendo sido editado pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, em 2012.

Esta obra apresenta dezessete propostas de geoparques em diferentes regiões e estados brasileiros, a seguir denominados. Região Norte: Cachoeira do Amazonas (AM); Região Nordeste: Morro do Chapéu (BA), Fernando de Noronha (PE), Seridó (RN), Serra da Capivara (PI), Litoral Sul de Pernambuco (PE); Região Centro-oeste: Pirineus (GO); Astroblema de Araguainha-Ponte Branca (GO/MT), Bodoquena-Pantanal (MS), Chapada dos Guimarães (MT); Região Sudeste: Quadrilátero Ferrífero (MG), Ciclo do Ouro de Guarulhos (SP), Uberaba - Terra dos Dinossauros (MG), Costões e Lagunas do Estado do Rio de Janeiro (RJ); Região Sul: Quarta-Colônia (RS), Caminhos dos Cânions do Sul (RS/SC), Campos Gerais (PR). Da análise das propostas de geoparques apresentadas na obra, cinco apresentam geossítios descritos em geossistemas ferruginosos, conforme apresentado na tabela 2. Cabe salientar que, além destes, no Geoparque Pirineus, em Goiás, também é relatada a ocorrência de geossistemas ferruginosos, porém não há proposta apresentada de sítio geológico neste sistema.

Tabela 2 – Geoparques com geossítios em geossistemas ferruginosos

Geoparque	Localização	Sítios em geossistemas ferruginosos
Quadrilátero Ferrífero	Minas Gerais	Serra da Piedade (SIGEP)
		Serra do Curral
		Pico de Itabira (SIGEP)
		Fonseca (SIGEP)
		Serra do Rola Moça
		Mina de Córrego do Meio
		Mina de Águas Claras
		Parque das Mangabeiras
		Fábrica Patriótica
		Serra do Gandarela
Serra da Moeda		
Bodoquena-Pantanal	Mato Grosso do Sul	Mina Urucum-Vale
		Mina dos Belgas
		Crosta laterítica Fazenda Figueira
		Crosta laterítica Fazenda Salesianos
		Mina de ferro e manganês Morraria Urucum - Santa Cruz
Cachoeiras do Amazonas	Amazonas	Platô laterítico
Ciclo do ouro de Guarulhos	São Paulo	Formação ferrífera do tanque grande
Campos Gerais	Paraná	Pedreira de ferro

O Geoparque Quadrilátero Ferrífero é o que apresenta maior número de geossítios associados à geossistema ferruginoso (total de onze), seguido do Geoparque Bodoquena-Pantanal (com seis). Dos 11 geossítios listados, três já haviam sido contemplados pela Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos: *Serra da Piedade*, *Pico de Itabira* e *Fonseca*. Ruchkys *et al.* (2012), baseados em Ruchkys (2007), fazem uma descrição dos demais geossítios.

O Parque Estadual da *Serra do Rola Moça* apresenta boas exposições de carapaça laterítica ferruginosa, regionalmente conhecida como canga. Eschwege (1822) afirma que o termo *tapanhoacanga* foi inicialmente utilizado pelos mineradores locais, em virtude da morfologia crespada com desenvolvimento de estruturas botrioidais, no terreno onde essa crosta predomina, e introduziu este termo na nomenclatura geológica. Os processos de laterização e a consequente formação de canga são relativamente recentes (do Cenozoico), estando comumente relacionados a processos de aplainamento do relevo. No caso das cangas do Quadrilátero Ferrífero, vários autores associam sua formação ao desenvolvimento da superfície de aplainamento Sul-Americana, considerada paleógena por King (1956).

A *Mina do Córrego do Meio* é a mais antiga mina de ferro na região do Quadrilátero Ferrífero. Suas reservas de hematita compacta foram exploradas durante 65 anos, desde 1940 até a exaustão em 2005, produzindo minério granulado para uso em processos siderúrgicos de

redução direta e alto-forno. Em 2008, a Companhia Vale do Rio Doce, atual proprietária, resolveu recuperar a área e transformá-la num espaço de desenvolvimento de pesquisas e atividades voltadas para a conservação e recuperação ambiental, implantando ali o Centro de Pesquisas e Conservação da Biodiversidade do Quadrilátero Ferrífero - CeBio.

A *Mina de ferro de Águas Claras* foi aberta em 1974 e desativada em 2002, quando sua cava foi transformada em um lago. Segundo Gomes (1986), a mineralização de ferro de Águas Claras é formada por uma lente de hematita de aspecto tabular encaixada em rochas metassedimentares estratigraficamente invertidas.

O *Parque das Mangabeiras* está localizado ao pé da Serra do Curral, patrimônio cultural de Belo Horizonte. No início da década de 1970, instalou-se na área a Ferro Belo Horizonte S.A. (FERROBEL), empresa mineradora municipal, que explorava minério de ferro. No início da década de 1960, a empresa foi desativada e começaram os estudos relativos à implantação do parque.

A *Fábrica Patriótica* é um sítio de interesse internacional do ponto de vista histórico, científico e educativo. Representa as ruínas da primeira usina a produzir ferro em escala industrial do Brasil. Sua construção foi iniciada em 1811 por Eschwege e, em 1812, foi forjado o primeiro ferro no malho. O conjunto das ruínas da Fábrica Patriótica, que estão no terreno da mina de ferro ativa homônima, é tombado pelo IPHAN desde 1938 como testemunho histórico da indústria siderúrgica.

A *Serra da Moeda* é um sítio de interesse nacional do ponto de vista científico, educativo, estético, cultural e turístico. É caracterizada por afloramentos que marcam o início de deposição do Supergrupo Minas: conglomerados e quartzitos da Formação Moeda e itabiritos da Formação Cauê, sobrepostos por canga, onde podem ocorrer cavidades naturais subterrâneas.

No Geoparque Bodoquena-Pantanal, as três minas listadas na tabela 2 estão localizadas no geossítio proposto para SIGEP *Morrarias do Urucum* que se encontra disponível para descrição. Os geossítios são apresentados por Rolim & Theodorowicz (2012). A *mina Urucum-Vale* está localizada no maciço de Urucum, onde afloram formações ferríferas bandadas, pertencentes à Formação Santa Cruz. A *mina dos Belgas* teve sua primeira lavra implantada pelos belgas da *Compagnie de l'Urucum* entre 1906 e 1916, atualmente está desativada e é aberta à visitação. O geoparque têm dois geossítios em crostas lateríticas com inscrições rupestres denominadas de *Fazenda Figueirinha* e *Fazenda Salesianos*. Ambos apresentam crosta laterítica sobre conglomerados ferruginosos da Formação Urucum, onde existem vestígios da presença de grupos de caçadores-coletores, incluindo inscrições em baixo relevo. O último geossítio listado é a mina de ferro e manganês *Morraria Urucum-Santa Cruz*, onde aflora formação ferrífera bandada, destacando-se o ferro tipo hematita e itabirito (terceira maior reserva do Brasil) e manganês tipo pirolusita.

Luzardo (2012) descreve o único geossítio em geossistema ferruginoso do Geoparque Cachoeiras do Amazonas, denominado de *platô laterítico*. Trata-se de um afloramento em corte de estrada de um platô laterítico intensamente alterado, com presença de latossolos com distintos horizontes.

O geossítio *formação ferrífera do Tanque Grande* compõe a proposta do Geoparque Ciclo do Ouro de Guarulhos, e é descrito por Aguillar *et al.* (2012) como um afloramento de aproximadamente 100 metros de comprimento de formação ferrífera, com alternância de camadas desde milimétricas até centimétricas de silicato e de *metachert*. Os autores destacam o caráter didático do geossítio, onde pode ser explorado o tema de formação do minério de ferro.

No Geoparque Campos Gerais, existe um geossítio proposto em litotipo ferruginoso - *Pedreira de Ferro*, sendo descrito por Burigo *et al.* (2012) como uma antiga pedreira desativada para extração de minério de ferro, com início das atividades no começo do século XX. Os autores ressaltam que se trata de um enriquecimento anômalo de ferro sobre rochas vulcânicas ácidas do Grupo Castro, formado por ignimbritos e riolitos.

Na figura 3, são apresentados alguns geossítios em geossistemas ferruginosos que constam das propostas brasileiras de geoparques.

Ameaças sobre o patrimônio geológico e políticas públicas para geoconservação

Muitas são as ameaças que pesam sobre o patrimônio geológico de forma geral e, de forma específica, sobre o patrimônio associado à geossistemas ferruginosos. Dentre elas podem ser citadas: a implantação de infraestruturas rodoviárias; grandes obras, tais como barragens, urbanização; a ocupação desordenada de áreas litorâneas e montanhosas; a mineração realizada de forma predatória e não planejada. A falta de conhecimento sobre a sua existência também pode ser considerada uma ameaça, já que um reduzido círculo de especialistas e do público em geral tem ciência do valor patrimonial dos elementos da geodiversidade. Soma-se a esses fatores o problema, muito comum em países pouco desenvolvidos, da pirataria ou destruição para o comércio de minerais raros ou fósseis. O patrimônio geológico é não renovável: uma vez destruído, não se regenera mais e uma parte da memória do planeta é perdida para sempre.

No caso específico de geossistemas ferruginosos, Carmo *et al.* (2012) destacam que a principal ameaça que paira sobre seu patrimônio associado é a mineração de ferro. Segundo os autores, as áreas outorgadas oficialmente às empresas mineradoras deste recurso abrangem cerca de 300 mil km² do território brasileiro, e nelas situam-se mais de 99% dos afloramentos de canga. Essa ameaça se deve ao valor econômico da geodiversidade relacionada às rochas ferruginosas.

Não existe em vigor, atualmente, nenhuma política pública para geoconservação de geossistemas ferruginosos, mesmo considerando sua importância e diferentes valores associados como anteriormente salientado, mas cabe fazer um breve relato das iniciativas brasileiras envolvendo a geoconservação de forma mais ampla.

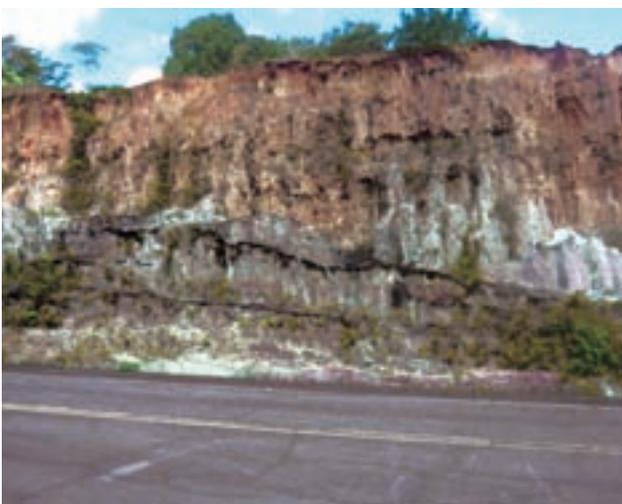
Para Ruchkys (2007) e Pereira (2010), as primeiras iniciativas de geoconservação no Brasil acontecem de forma indireta com a criação do Parque Nacional de Itatiaia, em 1937. Embora a criação desta unidade de conservação tenha como principal justificativa a proteção de elementos da biodiversidade, como a Floresta Pluvial Atlântica Montana e os Campos de Altitude, é inegável



(A) Geoparque Quadrilátero Ferrífero



(B) Geoparque Bodoquena-Pantanal



(C) Geoparque Cachoeiras do Amazonas



(D) Geoparque Ciclo do Ouro - Guarulhos



(E) Geoparque Campos Gerais

Figura 3 - Alguns sítios geológicos em geossistemas ferruginosos das propostas de geoparques do Brasil: (A) Geoparque Quadrilátero Ferrífero: canga da Serra do Rola Moça sustentando o relevo e servindo de suporte para biodiversidade; (B) Geoparque Bodoquena-Pantanal: entrada da mina dos Belgas e detalhe de uma das galerias com afloramentos de formações ferríferas; (C) Geoparque Cachoeiras do Amazonas: sítio platô laterítico em corte de estrada com exposição de solo com níveis ferruginosos e afloramento de arenito com fraturas preenchidas por óxido de ferro; (D) Geoparque Ciclo do Ouro de Guarulhos: afloramentos de formações ferríferas do geossítio tanque grande; (E) Geoparque Campos Gerais: Pedreira Malucelli, ignibritos ricos em ferro e detalhe da rocha. Fotos: (A) Úrsula Ruchkys; (B) Fábio Guimarães Rolim; (C) Renê Luzardo, fotos cedidas pela CPRM; (D) Annabel Aguilar; (E) Gilson Burgio.

seu valor patrimonial do ponto de vista geológico. A presença imponente do Pico das Agulhas Negras e das Prateleiras – importantes formações geológicas que estão entre os principais atrativos turísticos do parque, atestam esse valor. Várias unidades de conservação brasileiras encerram um rico patrimônio geológico, mesmo que sua presença não tenha sido a principal justificativa para criação das mesmas.

De forma mais específica, a ação que marca o início de uma preocupação com o inventário, proteção e promoção do patrimônio geológico se deu com a criação da SIGEP, em 1997. Em termos de políticas públicas, também merece destaque a criação do Projeto Geoparques do Brasil pela CPRM, em 2006, que representa um avanço significativo por dar visibilidade para áreas com representativo patrimônio geológico. Ribeiro *et al* (2013) salientam que, fora do âmbito Federal, alguns estados brasileiros também têm iniciativas regionais voltadas à pesquisa e conservação do patrimônio geológico por meio de programas de interpretação de seus valores, com destaque para o Rio de Janeiro, Paraná, Bahia, Minas Gerais, Rio Grande do Norte e São Paulo. Esse último Estado ainda tem uma ação de vanguarda no contexto das políticas públicas, com a instituição, em 2009, no âmbito da Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo (SMA/SP), do Conselho Estadual de Monumentos Geológicos (CoMGeo-SP), com o objetivo principal de receber e avaliar propostas de candidatura de geossítios à categoria de Monumento Geológico.

Pereira (2010) e Lorenci (2013) destacam ainda a criação do Geoparque Bodoquena-Pantanal, por meio de Decreto Normativo nº 12.897, assinado pelo Governador do Estado do Mato Grosso do Sul, em 22 de dezembro de 2009. Apesar de os geoparques não estarem definidos ou referenciados na legislação brasileira, este Estado acabou por estabelecer a criação de uma unidade desta natureza.

Mesmo não reconhecido por força de Lei, em 2011 foi realizado o “lançamento” oficial do Geoparque Quadrilátero Ferrífero, pela Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de Minas Gerais, por meio do Polo de Excelência Mineral e Metalúrgico. Ruchkys & Machado (2013) colocam como importante iniciativa, em Minas Gerais, a existência do Projeto de Sinalização Interpretativa, financiado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais, e executado pelo Instituto Terra Brasilis. O projeto teve como principal objetivo elaborar e instalar placas com informações geológicas em sítios do Quadrilátero Ferrífero, com linguagem acessível, aproximando o cidadão comum de seu patrimônio geológico e promovendo a geoconservação. Entre os sítios contemplados estão as serras do Rola Moça e da Piedade, ambas em geossistemas ferruginosos.

Considerações finais

Embora estejam relacionadas a um conceito consolidado há pouco tempo, as propostas de geoparques devem ser crescentes no Brasil, um país caracterizado por sua grande geodiversidade. A filosofia por trás do conceito de geoparques combina proteção e promoção do patrimônio geológico, aliados ao desenvolvimento sustentável do território e ao envolvimento das comuni-

dades que o integram. Algumas das novas propostas provavelmente contemplarão sítios geológicos em geossistemas ferruginosos, considerando sua ocorrência em diferentes estados do Brasil, e o mesmo deve acontecer para a proposição de geossítios para Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos do Brasil.

Agradecimentos

A autora agradece ao Serviço Geológico do Brasil, na pessoa do geólogo Carlos Schobbenhaus, que cedeu algumas das fotografias usadas para ilustrar o livro Geoparques do Brasil. Agradece ainda a todos os pesquisadores que cederam suas fotografias para compor este capítulo: Adriana Takahasi, Allan Calux, Annabel Aguilar, Fabio Guimarães Rolim, Gilson Burgio, Miguel Andrade, Paulo de Tarso Amorim Castro, Renê Luzardo e Rosaline Silva. A autora agradece ao colega Paulo de Tarso Amorim Castro pela cuidadosa revisão do texto.

Referências Bibliográficas

- Aguillar, A.P.; Barros, E.B.; Andrade, M.R.M.; Oliveira, E.S.; Juliani, C. & Oliveira, A.M.S. 2012. Geoparque Ciclo do Ouro Guarulhos. In: Schobbenhaus, C. & Silva, C.R. *Geoparks do Brasil: propostas*. v. 1. Rio de Janeiro: CPRM. p. 543-582.
- Almeida, R.P. 2008. *Geologia de superfície de uma área da Serra da Serpentina (Conceição do Mato Dentro, MG) e comparação com dados de sondagem*. Relatório. 13 p. São Paulo. Disponível em: <http://www.igc.usp.br/pessoais/renatoalmeida/data/Renato%20Serpentina.pdf>.
- Auler, A.S. & Piló, L.B. 2005. Introdução às cavernas em minério de ferro e canga. *O Carste*, 17 (3): 70-72.
- Baeta, A. 2011. *Os Grafismos Rupestres suas Unidades Estilísticas no Carste de Lagoa Santa e Serra do Cipó*. Tese de Doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo / Museu de Arqueologia e Etnologia.
- Baeta, A. & Piló, H. 2005. Arqueologia do Quadrilátero Ferrífero. In: XIII Congresso da Sociedade de Arqueologia Brasileira-SAB. Campo Grande. *Anais...*
- Baeta, A. & Piló, H. 2015. Arqueologia nas Cavernas e Suportes Ferruginosos. In: Ruchkys, U.A.; Rasteiro, M.; Travassos, L.P. & Faria, L. *Patrimônio espeleológico em rochas ferruginosas: propostas para sua conservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais* (no prelo). Belo Horizonte: SBE. p. 250-284.
- Bittencurt, J.S.; Vasconcelos, A.G.; Carmo, F.F. & Buchmann, F.S. 2015. Registro paleontológico em caverna desenvolvida em formações ferríferas na Serra do Gandarela (MG). In: Ruchkys, U.A.; Rasteiro, M.; Travassos, L.P. & Faria, L. *Patrimônio Espeleológico em rochas ferruginosas: propostas para sua conservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais* (no prelo). Belo Horizonte: SBE. p. 238-249.
- Brilha, J. 2012. A rede global de geoparques nacionais. In: Schobbenhaus, C.; Silva, C.R. (org.). *Geoparks do Brasil: propostas*. v. 1. Rio de Janeiro: CPRM. p. 29-38.

Burigo, G.; Melo, M.S.; Piekarz, G.F.; Moreira, J.C.; Liccardo, A. & Mochiutti, N.F. 2012. Geoparque Campos Gerais. In: Schobbenhaus, C. & Silva, C.R. *Geoparks do Brasil: propostas*. v. 1. Rio de Janeiro: CPRM. p. 617-646.

Calux, A. 2013. *Gênese e desenvolvimento de cavidades naturais subterrâneas em formação ferrífera no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Geociências. 220 p.

Carmo, F.F. 2010. *Importância ambiental e estado de conservação dos ecossistemas de cangas no Quadrilátero Ferrífero e proposta de Áreas-Alvo para a Investigação e Proteção da Biodiversidade em Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Biológicas. 90 p.

Carmo, F.F.; Campos, I.C. & Jacobi, C.M. 2012. Cangas: ilhas de ferro estratégicas para a conservação. *Ciência Hoje*, 295: 48-53.

Carmo, F.F.; Salgado, A.A.R.; Jacobi, C.M. 2011. Novo sítio espeleológico em sistemas ferruginosos, no Vale do Rio Peixe Bravo, norte de Minas Gerais, Brasil. *Espeleo-Tema*, 22: 25-39.

Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – CEVAV. *Plano de Ação Nacional para Conservação do Patrimônio Espeleológico da Bacia do Rio São Francisco*. 2011. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/fauna-brasileira/plano-de-acao/870-plano-de-acao-nacional-para-conservacao-das-cavernas-do-sao-francisco.html>.

Dorr, J.v.N. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *USGS. Prof. Paper 641-A*. Washington. 110 p.

Eschwege, W.L.V. 1822. *Geognostisches Gemälde von Brasilien und Wahrscheinliches Muttergestein der Diamanten*. Weimar. 44 p.

Eschwege, W.L.V. 1979. *Pluto Brasiliensis*. 1. Domício de Figueiredo Murta (trad.). Belo Horizonte: Itatiaia / São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.

Ferreira, L.R. 2005. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. *O Carste*. Belo Horizonte. 17 (3): 106-115.

Fonseca, M.H. 2009. *Estabelecimento de critérios e parâmetros para a valoração do património geológico português - aplicação prática ao património geológico do Parque Natural de Sintra-Cascais*. Dissertação de Mestrado. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa. 166 p.

Girelli, M. 1994. *Lajedos com gravuras na região de Corumbá, MS*. Dissertação de Mestrado. São Leopoldo: Universidade Vale dos Sinos.

Gray, M. 2004. *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. London: John Willey & Sons, Chichester. 434 p.

Gomes, J.C.M. 1986. As minas de Águas Claras, Mutuca e Pico e outros depósitos de minério de ferro no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: Schobbenhaus, C.; Coelho, C.E.S. *Principais Depósitos Mineraiis do Brasil*. V. 2. Brasília: DNPM/Companhia Vale do Rio Doce. p. 65-75.

- King, L.C. 1956. A geomorfologia do Brasil oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, 18(2): 147-265.
- Leão, M.; Auler, A. & Pascoaloto, R.B. 2011. *Serra do Sapo – espeleologia: diagnóstico bioespeleológico, geoespeleológico, análise de relevância*. Disponível em: http://www.institutodocarste.org.br/br/images/stories/docs/Diagnostico%20Bio_Geoespeleologico_Analise_Relevancia.pdf.
- Lorenci, C.T.B. 2013. *Geoturismo: uma ferramenta auxiliar na interpretação e preservação do patrimônio geopaleontológico da região central do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 183 p.
- Luzardo, R. 2012. Geoparque Cachoeiras do Amazonas. In: Schobbenhaus, C. & Silva, C.R. *Geoparks do Brasil: propostas*. v. 1. Rio de Janeiro: CPRM. p. 39-58.
- Magalhães, M.P. 2006. O Homem das cavernas de Carajás. In: Teixeira, J.B.G. & Beisiegel, V.R. *Carajás: geologia e ocupação humana*. 1ª ed. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, p.91-126.
- Martins, F.D.; Castilho, D.; Matano, F.M. & Rolim, S.G. 2012. *Fauna da Floresta Nacional de Carajás: estudo sobre vertebrados terrestres*. Vale/ICMBio. 233 p.
- Mello, C.L.; Sant’anna, L.G. & Bergqvist, L.P. 2002. Fonseca, MG - Vegetais fósseis do Terciário brasileiro. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D.A.; Queiroz, E.T.; Winge, M. & Berbert-Born, M.L.C. *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. 1ª edição. Brasília: DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP). 1: 73-79.
- Mourão, M.A.A.M. 2007. *Caracterização hidrogeológica do aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG*. Tese de Doutorado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. 297 p.
- Moraes, L.J.; Dorr, J.v.N.; Guild, P.W.; Barbosa, A.L.M.; Iglesias, D. & Meneghezzi, M.L. 1953. Jazidas de ferro do Brasil. *Boletim*. Departamento Nacional da Produção Mineral, 144. Rio de Janeiro: Serviço Gráfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (SERGRAF). 66 p.
- Morais, M.C.; Junior; P.M.P. & Paradella, W.R. 2009. Informações geoambientais derivadas de imagens de radar (R99B/SIPAM) e ópticas (LANDSAT/TM5) em jazimento de minério de ferro em Carajás. *Revista Escola de Minas*, 62(2): 131-137.
- Pereira, M.C. 2012. *Aspectos genéticos e morfológicos das cavidades naturais da Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Geociências. 150 p.
- Pereira, R.G.F.A. 2010. *Geoconservação e Desenvolvimento Sustentável na Chapada Diamantina (Bahia - Brasil)*. Tese de Doutorado. Braga: Universidade do Minho. 295 p.
- Piló, L. B. & Auler, A. 2009. Geoespeleologia das cavernas em rochas ferríferas da região de Carajás, PA. 30º Congresso Brasileiro de Espeleologia. Montes Claros. *Anais...* p.181-186.
- Renger, F.E. & Knauer, G. 1995. (...) Espinhaço - quo vadis ? (onde está? - aonde vai?) a evolução dos conhecimentos sobre a Cordilheira do Espinhaço meridional em Minas Gerais entre 1979 e 1995. *Geonomos*, 3(1): 31-39.

- Ribeiro, R.R.; Christofolletti, S.R.; Batezelli, A.; Fittipaldi, F.C. & Zanchetta, D. 2013. Inventário e avaliação do patrimônio natural geológico da região de Rio Claro (SP). *Revista do Instituto Geológico*, 34(1): 1-21.
- Rolim, F.G. & Theodorowicz, A. 2012. Geoparque Bodoquena-Pantanal. In: Schobbenhaus, C. & Silva, C.R. *Geoparks do Brasil: propostas*. v. 1. Rio de Janeiro: CPRM. p. 221-282.
- Rosière, C.A. 2015. Formações Ferríferas e Minérios de Alto Teor Associados. In: Ruchkys, U.A.; Rasteiro, M.; Travassos, L.P. & Faria, L. *Patrimônio Espeleológico em rochas ferruginosas: propostas para sua conservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais* (no prelo). Belo Horizonte: SBE. p. 89-114.
- Rosière, C.A.; Renger, F.E.; Piuzana, D. & Spier, C.A. 2009. Pico de Itabira, MG - Marco estrutural, histórico e geográfico do Quadrilátero Ferrífero. In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E.T.; Campos, D.A.; Souza, C.R.G. & Fernandes, A.C.S. *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Brasília: CPRM. v. 2. 515 p.
- Ruchkys, U.A. 2007. *Patrimônio Geológico e Geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para criação de um geoparque da UNESCO*. Tese de Doutorado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Geociências. 211 p.
- Ruchkys, U.A. & Machado, M.M.M. 2013. Patrimônio geológico e mineiro do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais – Caracterização e iniciativas de uso para educação e geoturismo. *Boletim Paranaense de Geociências*, 70: 120-136.
- Ruchkys, U.A. & Machado, M.M.M. 2015. Serviços da Geodiversidade Associados às Formações Ferríferas: Pressão e Oportunidades de Conservação. In: Ruchkys, U.A.; Rasteiro, M.; Travassos, L.P. & Faria, L. *Patrimônio Espeleológico em rochas ferruginosas: propostas para sua conservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais* (no prelo). Belo Horizonte: SBE. p. 306-318.
- Ruchkys, U.A.; Machado, M.M.M.; Castro, P.T.A., Renger, F.E.; Trevisol, A. & Beato, B.A.C. 2012. Geoparque Quadrilátero Ferrífero. In: Schobbenhaus, C. & Silva, C.R. *Geoparks do Brasil: propostas*. v. 1. Rio de Janeiro: CPRM. p. 183-220.
- Ruchkys, U.A.; Renger, F.E.; Noce, C.M. & Machado, M.M.M. 2009. Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero, MG - da lenda do Sabarabuçu ao patrimônio histórico, geológico, paisagístico e religioso. In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E.T.; Campos, D.A.; Souza, C.R.G. & Fernandes, A.C.S. *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Brasília: CPRM. v. 2. 515 p.
- Sant'anna, L.G. 1994. *Mineralogia das argilas e evolução geológica da Bacia de Fonseca, Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Universidade de São Paulo / Instituto de Geociências. 151 p.
- Sant'anna, L.G. & Schorscher, J.H.D. 1997. Estratigrafia e mineralogia dos depósitos cenozoicos da região da Bacia de Fonseca, Estado de Minas Gerais, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 69(2): 211-226.
- Sant'anna, L.G.; Schorscher, J.H.D. & Riccomini, C. 1997. Cenozoic tectonics of the Fonseca Basin region, Eastern Quadrilátero Ferrífero, MG, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 10(3-4): 275-284.

Schobbenhaus, C. & Silva, C. 2012. O papel do Serviço Geológico do Brasil na criação de geoparques e na conservação do patrimônio geológico. In: Schobbenhaus, C. & Silva, C.R. *Geoparks do Brasil: propostas*. v. 1. Rio de Janeiro: CPRM. p. 29-38.

Takahasi, A. 2010. *Ecologia da vegetação em bancadas lateríticas em Corumbá-MS*. Tese de Doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo / Instituto de Biociências. São Paulo. 255 p.

Tolbert, G.E.; Tremaine, J.W.; Melcher, G.C. & Gomes, C.B. 1971. The recently discovered Serra dos Carajás iron deposits, northern Brazil. *Economic Geology*, 66: 985-994.

Valentim, R.F. & Olivito, J.P.R. 2011. Unidade Espeleológica Carajás: delimitação dos enfoques regional e local, conforme metodologia da IN-02/2009 MMA. *Espeleo-Tema*, 22 (1).

Vilela, O.V. 1986. As jazidas de minério de ferro dos municípios de Porteirinha, Rio Pardo de Minas, Riacho dos Machados e Grão-Mogol, norte de Minas Gerais. In: Schobbenhaus C. & Coelho C.E.S. *Principais Depósitos Minerais do Brasil: ferro e metais da indústria do aço* 2. p. 111-120.

BIODIVERSIDADE SUBTERRÂNEA EM GEOSSISTEMAS FERRUGINOSOS

Rodrigo Lopes Ferreira, Marcus Paulo Alves de Oliveira & Marconi Souza Silva

Introdução

Estudos científicos referentes à fauna cavernícola brasileira foram iniciados somente a partir da década de 80, principalmente em cavernas calcárias localizadas nos estados de São Paulo, Goiás, Bahia, Paraná e Minas Gerais (Dessen *et al.* 1980, Trajano 1987, Trajano & Gnaspini 1991, Gnaspini & Trajano 1994, Pinto-da-Rocha 1995). Apesar de ser possível encontrar registros que datam de um período anterior (Beier 1969), estes referem-se a trabalhos de descrição de determinadas espécies, não considerando toda a fauna presente nas cavidades. Neste período inicial, as informações disponibilizadas em publicações científicas eram quase sempre referentes a estudos zoológicos e levantamentos faunísticos realizados em cavernas. Posteriormente, no final da década de 90, surgiram trabalhos avaliando toda a comunidade faunística e sua interação com os recursos tróficos presentes, bem como comparando comunidades de diferentes províncias espeleológicas (Ferreira & Pompeu 1997, Ferreira & Martins 1999, Trajano 2000, Ferreira & Horta 2001). Na atualidade, é possível encontrar uma grande diversidade de estudos referentes à vida presente nas cavernas brasileiras, que abordam diferentes temas da biologia, como ecologia (Ferreira 2004, 2005; Souza-Silva *et al.* 2011; Pellegrini & Ferreira 2012), taxonomia (Brescovit *et al.* 2012, Iniesta *et al.* 2012, Ratton *et al.* 2012, Souza & Ferreira 2012, Souza & Ferreira 2013, Hoch & Ferreira 2013, Santos *et al.* 2013, Bernardi *et al.* 2014), bioquímica (Bastos *et al.* 2013), comportamento (Hoenen & Gnaspini 1999, Hoenen 2005, Oliveira & Ferreira 2014), evolução (Yoshizawa *et al.* 2014), microbiologia (Taylor *et al.* 2013, Melo *et al.* 2013), entre outros.

Histórico sobre as pesquisas biológicas em cavernas ferruginosas

Durante décadas, os estudos bioespeleológicos em cavernas brasileiras se concentraram em cavidades carbonáticas, que eram as mais numerosas e geralmente incluíam as maiores cavidades em termos de extensão (Auler *et al.* 2001). Estudos em cavidades ferruginosas foram efetuados inicialmente no Pará (Moreira & Paiva 1988), entretanto com pouco refinamento nas identificações e sem menção aos aspectos ecológico-evolutivos dos organismos registrados. Além disso, o

estudo acima citado infelizmente nunca foi publicado, consistindo somente em um resumo de congresso. Somente a partir do ano de 2003, o aquecimento do mercado ligado ao minério de ferro e o maior rigor dos órgãos de licenciamento ambiental promoveram a necessidade de cadastrar e estudar o patrimônio espeleológico associado a esta litologia (Auler & Piló 2005, Ferreira 2005). Ferreira (2005) publicou o primeiro trabalho referente à fauna subterrânea associada às cavernas ferruginosas. Neste artigo, o autor mencionou que, mesmo quando apresentam pequeno desenvolvimento linear, as cavernas em minério de ferro revelam comunidades extremamente complexas vivendo sob condições peculiares, e possuem um elevado potencial ao estabelecimento de populações de espécies restritas ao ambiente subterrâneo.

Trabalhos recentes realizados em cavidades de canga e minério de ferro na região do Quadrilátero Ferrífero (MG) (Coelho *et al.* 2010, Souza-Silva *et al.* 2011, Mascarenhas 2013, Oliveira *et al.* 2013, Prous 2013) e Serra dos Carajás (PA) (Andrade 2010) têm revelado uma fauna diversificada, com considerável número de organismos troglomórficos. Como resultado, novas espécies, de diferentes *taxa*, têm sido descobertas e descritas para esta litologia. Além das espécies troglóbias (que serão tratadas, à frente, no tópico “Troglóbios”), diferentes espécies troglófilas também têm sido descritas para cavernas ferruginosas, como Psocoptera (Psyllipsocidae: *Psyllipsocus similis* Lienhard & Ferreira 2013), Palpigradi (Eukoeneriidae: *Eukoeneria ferratilis* Souza & Ferreira 2011), Acari (Opiliacaridae: *Neocarus proteus* Bernardi *et al.* 2013), Scolopendromorpha (Cryptopidae: *Cryptops hephaestus* Ázara & Ferreira 2013), Spirostreptida (Pseudonannolenidae: *Pseudonannolene gogo* e *Pseudonannolene rolamossa* Iniesta & Ferreira 2013), Opiliones (Neogoveidae: *Canga renatae* Da Silva *et al.* 2010), Ricinulei (Ricinoididae: *Cryptocellus tarsilae* Pinto-da-Rocha & Bonaldo 2007 e *Cryptocellus canga* Pinto-da-Rocha & Andrade, 2012), Araneae (Drymusidae: *Drymusa spelunca* Bonaldo *et al.* 2006) e Hymenoptera (Formicidae: *Stegomyrmex bensoni* Feitosa *et al.* 2008). Além destas, há ainda várias novas espécies troglomórficas que até o momento não foram formalmente descritas (Ferreira 2005, Oliveira *et al.* 2013, Prous 2013).

Historicamente, os estudos de fauna subterrânea deram maior ênfase às espécies troglóbias, desconsiderando os demais componentes da fauna. Entretanto, é evidente a necessidade de avaliar toda a fauna, uma vez que as medidas de conservação e manejo de cavernas dependem de conhecimento mais amplo, muitas vezes referente à toda a comunidade presente em uma dada caverna (Sharrat *et al.* 2000, Souza-Silva *et al.* 2011). Ademais, tal avaliação permite conhecer as diferentes fases de adaptação das espécies ao ambiente subterrâneo (Gibert & Deharveng 2002) e reconhecer espécies invasoras nestes sistemas (Mazza *et al.* 2014). Esta premissa é ainda mais importante ao considerarmos que as cavidades ferruginosas apresentam composição singular da fauna, forte tendência de aumento de espécies com o aumento da projeção linear e maior riqueza de espécies troglomórficas quando comparadas a outras litologias (Souza-Silva *et al.* 2011). Além disso, Oliveira (2014) demonstrou que a riqueza de espécies é superior em cavernas ferruginosas quando comparadas às associadas ao quartzito e calcário.

Além de trabalhos em ecologia e taxonomia, cavernas ferruginosas também já foram alvo de estudos de microbiota: Taylor e colaboradores (2014) avaliaram a presença de fungos filamentosos patogênicos e oportunistas em diversos sedimentos de uma cavidade em minério de

ferro e encontraram relação negativa entre a abundância de fungos de acordo com a distância da entrada. Parker e colaboradores (2013) demonstraram que bactérias capazes de reduzir ferro podem ter importante papel no processo de dissolução do minério de ferro e, conseqüentemente, na formação das cavidades nesta litologia.

Os ambientes subterrâneos ferruginosos

Cavernas ferruginosas podem ocorrer em formações de canga, hematita e itabirito, sendo originadas por processos de dissolução e erosão, através da atividade da água em movimento ou em lençol freático, e por atividade de bactérias com capacidade de redução do ferro (Piló & Auler 2005, Parker *et al.* 2013). A dissolução leva à formação de porções de minério de ferro com porosidade elevada, que pode atingir até 50% do volume original da rocha (Simmons 1963). O envolvimento das comunidades microbianas na gênese das cavernas ocorre através da atividade de biofilmes de bactérias que crescem em paredes e teto, associados a águas de percolação (Parker *et al.* 2013). Entretanto, antecedendo os processos de erosão e das atividades bacterianas, ocorre uma fase hipogênica associada à zona freática (Pinheiro & Maurity 1988).

Em geral, as cavernas ferruginosas são pequenas. No entanto, há registro de cavidades com projeção horizontal acima de 300m (Corrêa 2012). A maioria das cavernas apresenta apenas uma pequena câmara, com anexos que estreitam em canais menores. Boa parte das cavidades é seca, sendo que drenagens intermitentes ocorrem como resultado de gotejamentos ou percolação das águas pluviais através de pequenas descontinuidades, principalmente durante a estação chuvosa.

Entretanto, quando nos referimos a ambientes subterrâneos ferruginosos, devemos levar em consideração não somente as macrocavernas, mas também os ambientes subterrâneos de volumes reduzidos que funcionam como importantes elementos de conectividade para a fauna de invertebrados entre as macrocavernas. Neste caso, podemos citar a ocorrências de canalículos, fendas, fissuras e espaços em sedimentos consolidados ou não. Assim, quando avaliamos tais espaços, desde a superfície até o interior de uma caverna, podemos delimitar uma sucessão de habitats subterrâneos que se apresentam em diferentes configurações espaciais (meio endógeno, rede de canalículos, zona vadosa e zona freática).

Ferreira (2005) descreve a rede de canalículos como uma extensa rede de espaços intersticiais consolidados e conectados às macrocavernas que compreende espaços na rocha, gerados por descontinuidades da própria rocha que foram progressivamente expandidas pela lenta ação da água, solubilizando a rocha. Muitos destes espaços (em geral de volumes reduzidos) são capazes de estocar a água das chuvas, que lentamente vão-se escoando para porções mais profundas. Muitas vezes, estes habitats mantêm-se encharcados ou bastante úmidos, possibilitando o estabelecimento de populações de invertebrados de hábitos aquáticos e anfíbios. Canalículos podem conectar-se a ambientes epígeos edáficos como serapilheira, lapidícola e endógeno. A presença destes canalículos seria uma característica exclusiva de sistemas subterrâneos ferruginosos (Ferreira 2005, Souza Silva *et al.* 2011).

Características gerais dos ambientes subterrâneos ferruginosos

Cavernas ferruginosas apresentam-se como ambientes variáveis do ponto de vista trófico e da composição da fauna, e apresentam como característica marcante a elevada riqueza e grande variedade de grupos comprovadamente troglóbios/troglomórficos (Ferreira 2005, Souza-Silva *et al.* 2011). A singularidade da estrutura das comunidades e a funcionalidade trófica dos ambientes de cavernas ferruginosas foram bem descritas para cavernas do Quadrilátero Ferrífero e Tocantins por Ferreira (2005). As mesocavernas são utilizadas por inúmeros organismos que transitam desde a superfície (provenientes de habitats lapidícolas) até regiões mais interiores, acessando, frequentemente, as macrocavernas. As relações tróficas são sustentadas pela produtividade primária de raízes oriundas de árvores e arbustos externos, de depósitos de guano de morcegos e depósitos de matéria orgânica vegetal que, geralmente, se concentram nas macrocavernas. Desta forma, a maior disponibilidade de micro-habitats estáveis (em termos de temperatura e umidade) e de recursos alimentares favorece a “concentração” de espécies nestes ambientes, elevando a diversidade nas macrocavernas ferruginosas (Ferreira 2005).

Recursos alimentares

A característica de permanente escuridão e conseqüente ausência de produtividade primária direta via fotossíntese torna crucial a necessidade de um suprimento persistente de recursos orgânicos alóctones para a manutenção da biota em ambientes cavernícolas (Schneider *et al.* 2011, Souza-Silva *et al.* 2011). Estes recursos orgânicos apresentam-se na forma de matéria orgânica não viva, incluindo diferentes componentes vegetais (raízes mortas, folhas, troncos e frutos) e animais (carcaças, fezes, regurgitos etc.) que compõem a base energética em cadeias alimentares heterotróficas (Figura 1).

Detritos são comumente transportados para ambientes subterrâneos por meio de animais que transitam do epígeo para o hipógeo, por cursos d'água perenes ou intermitentes e gravitacionalmente por aberturas (Souza-Silva *et al.* 2013). Entretanto, há poucos registros de riachos perenes em cavernas ferruginosas. Nos ambientes terrestres, muitos fungos e bactérias que crescem sobre diferentes materiais orgânicos são importantes consumidores de detritos e fontes de alimentos para a fauna subterrânea (Barton 2006).

Os recursos tróficos e teias alimentares nas cavidades ferruginosas mostram ampla variedade nas relações tróficas e vias de produtividade. De modo geral, todas as vias “convencionais” de importação de recursos para as cavernas estão presentes (água de percolação, transporte por animais, riachos, enxurradas e transporte gravitacional) (Ferreira 2005). Depósitos de fezes de vertebrados não são amplamente presentes nestes sistemas. Quando ocorrem, tendem a possuir pequeno tamanho e volume. Entretanto, depósitos com grandes quantidades de guano podem ocorrer em casos onde existem enormes colônias de morcegos (como as observadas para espécies do gênero *Pteronotus*), com destaque para as cavernas ferruginosas presentes na região amazônica.

Algo que certamente diferencia as cavernas ferruginosas de cavernas associadas às demais litologias no Brasil é sua importante base trófica sustentada por raízes. Tais raízes são provenientes de plantas da vegetação externa que se desenvolvem através dos interstícios da rocha e alcançam as galerias das cavernas (Ferreira, 2005). Esta condição se assemelha ao observado em tubos de lava presentes no Havaí ou nas Ilhas Canárias, muitos dos quais interceptados por raízes (em função de sua superficialidade), que representam importantes recursos alimentares para diversas espécies. Nas cavernas ferruginosas, as raízes podem assumir um papel fundamental na manutenção de populações fitófagas restritas, como de espécies das famílias Cixidae e Ortheziidae.

As comunidades subterrâneas

Categorias ecológicas e evolutivas da fauna em ambientes subterrâneos

O sistema Schinner-Racovitza modificado (Sket 2008) tem sido o mais utilizado na classificação do modo de vida de animais que se associam a ambientes subterrâneos. Baseando-se no grau de interações ecológicas e especializações evolutivas decorrentes do isolamento nos ambientes subterrâneos, as espécies animais são alocadas nas categorias de troglóxenos, troglófilos e troglóbios. **Os troglóxenos** são os animais regularmente encontrados no ambiente subterrâneo, mas que dele saem frequentemente para se alimentar, sendo incapazes de completar seu ciclo de vida somente no interior de cavernas. **Os troglófilos** são os organismos que podem completar seu ciclo de vida no meio hipógeo e/ou epígeo. No meio epígeo, tanto os troglóxenos quanto os troglófilos evitam ambientes muito iluminados, com alta insolação e demasiadamente secos. **Troglóbios** restringem-se ao ambiente subterrâneo (são incapazes de estabelecer populações viáveis no meio externo) e podem apresentar modificações morfológicas, fisiológicas e no comportamento, que muitas vezes resultam da evolução em resposta às pressões seletivas presentes e/ou à ausência de pressões seletivas típicas do meio epígeo. Frequentemente, nestes organismos há redução das estruturas oculares, despigmentação e o alongamento de apêndices sensoriais. É importante salientar que o termo “troglomorfismo” tem sido amplamente utilizado para definir características (especialmente morfológicas, como as previamente citadas) associadas à evolução após o isolamento nos ambientes subterrâneos.

Interconectividade das cavernas

Segundo Ferreira (2005), as comunidades associadas a cavernas ferruginosas possuem, como característica marcante, uma dominância de espécies de hábitos intersticiais, que preferem abrigar-se em fendas, espaços sob rochas ou outros espaços intersticiais. Sendo assim, uma grande quantidade de espécies permanece abrigada, o que inicialmente pode levar à concepção equivocada de que estes sistemas sejam pobres em fauna. Entretanto, quando micro-habitats (como espaços sob rochas) são investigados, uma grande riqueza de espécies é revelada. Isto é evidenciado por

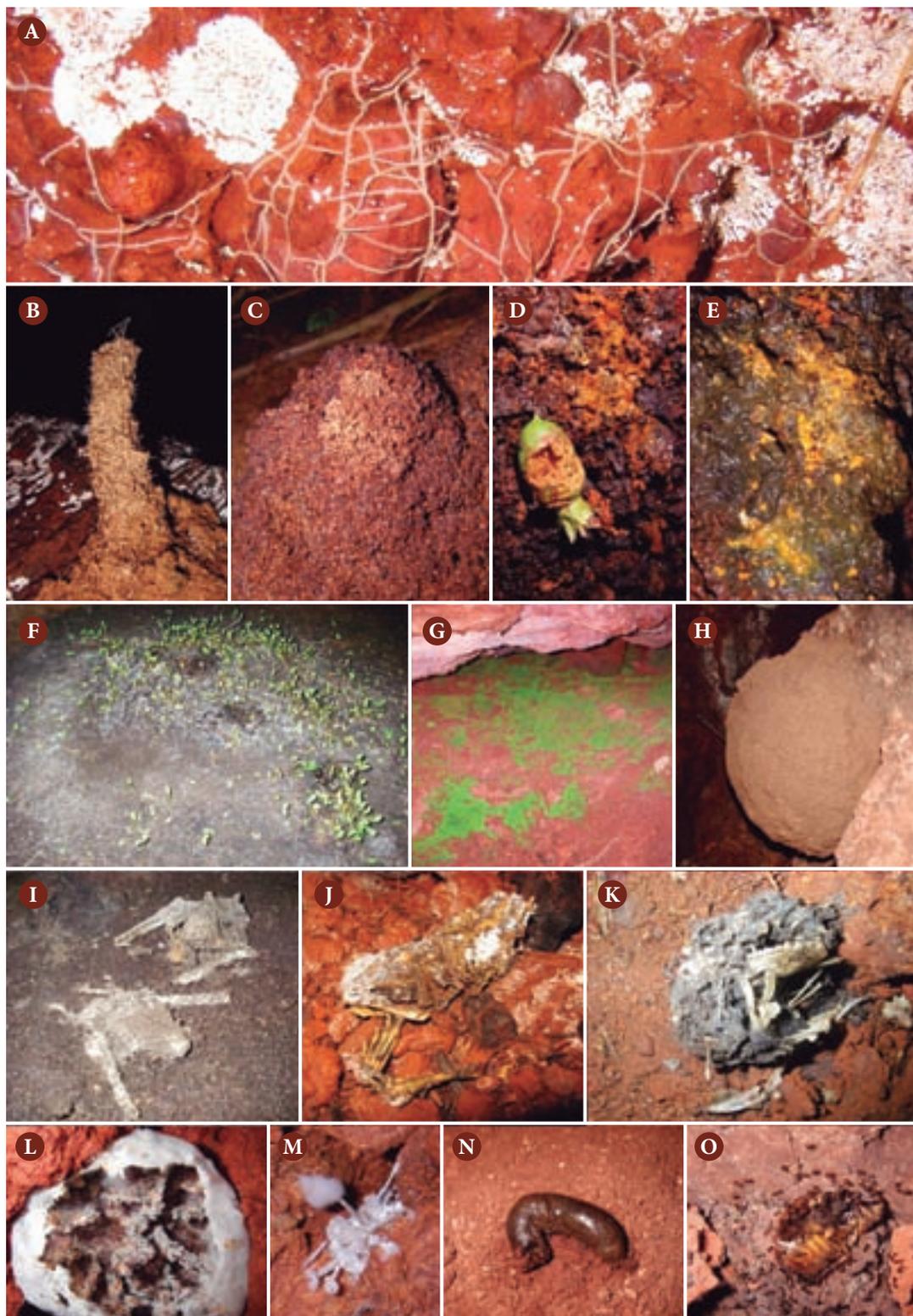


Figura 1 - Diversidade de recursos orgânicos em cavernas ferruginosas do Brasil. A) Raízes e colônias de microrganismos crescendo sobre paredes; B) Rizotema; C) Depósito de guano de morcegos insetívoros; D) Guano de morcegos frugívoros com restos de frutos deixados pelos morcegos; E) guano de morcegos frugívoros; F) Plântulas germinadas a partir de sementes presentes no guano; G) Briófitas crescendo nas proximidades da entrada; H) Termiteiro; I) Carcaças de morcegos sobre o guano; J) Carcaça de um anuro; K) Bolota de regurgito de coruja; L) Fungos se desenvolvendo em câmara de cultivo de um formigueiro; M) Fungos se desenvolvendo sobre uma carcaça de inseto; N) Fezes de um vertebrado não voador; O) Carcaça de um inseto (Blattodea).

Oliveira (2014), que demonstrou que, com a sobreposição de métodos de amostragem e procura mais acurada nos substratos presentes em cavidades ferruginosas, o número de espécies encontradas aumenta consideravelmente. Destaca-se também a elevada propensão que muitas espécies de invertebrados possuem a utilizarem espaços além das macrocavernas ferruginosas, como as redes de canalículos. A utilização de metodologias complementares que consigam extrair a fauna dos canalículos é essencial para o conhecimento e entendimento destes habitats, bem como para a real compreensão de como estas comunidades são estruturadas.

As macrocavernas funcionam como atrativos para a fauna, uma vez que oferecem distintos recursos tróficos, como manchas de guano ou depósitos de matéria orgânica vegetal que inexistem em canalículos e espaços intersticiais (Ferreira 2005). Tal autor postulou que muitas destas cavernas possam representar áreas de “concentração” da diversidade subterrânea de uma dada área, em especial quando apresentam maior quantidade e variedade de recursos tróficos.

A forte tendência de aumento no número de espécies com pequenos acréscimos no desenvolvimento linear em cavernas ferruginosas pode ser uma influência direta do aumento da disponibilidade de área e de micro-habitats (Figura 2). Além do mais, os canalículos presentes nesta litologia podem promover uma extensão aos habitats presentes nas macrocavernas para os invertebrados (Souza-Silva *et al.* 2011). O aumento da riqueza nestes ambientes também pode ser resultado do acesso de espécies provenientes de micro-habitats similares do meio epígeo adjacente, devido à superficialidade destas cavidades e da rede de canalículos.

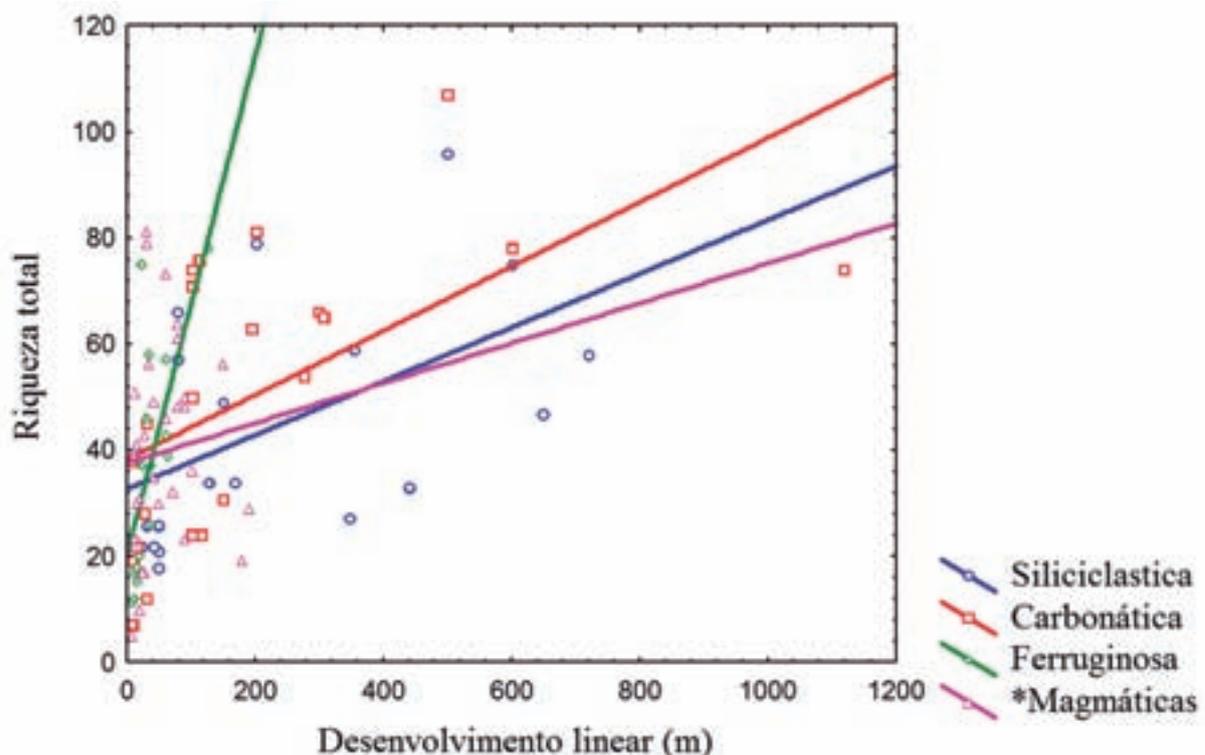


Figura 2 - Relações positivas significativas e não significativas (*) entre o número de espécies e o aumento da extensão das cavernas de diferentes litologias na Mata Atlântica Brasileira (Modificado de Souza-Silva *et al.* 2011).

A análise de Escalonamento Multidimensional não-métrica (n-MDS) realizada para algumas cavernas ferruginosas e quartzíticas presentes em uma mesma região de Carajás evidenciou as similaridades entre as cavidades através das distâncias em um plano bidimensional (Figura 3). Neste caso, cada ponto representa uma cavidade. Como as cavernas foram amostradas em diferentes estações do ano, optou-se por elaborar cada um dos gráficos evidenciando o momento da amostragem, no intuito de evidenciar diferenças entre as litologias.

Embora as cavernas de diferentes litologias tenham-se mostrado ligeiramente dissimilares, foi observada uma perceptível separação entre as comunidades associadas a cada uma destas litologias. Uma característica marcante consiste no fato de que as cavernas quartzíticas mostraram comunidades mais dissimilares no período de seca (Figura 3A), enquanto para as cavernas ferruginosas o padrão observado foi inverso, isto é, as cavernas mostraram comunidades mais dissimilares no período chuvoso (Figura 3B).

Tais dados demonstram claramente que a estruturação e dinâmica das comunidades destas cavernas de litologias distintas mostram-se bastante diferenciadas, mesmo que a composição de espécies não tenha sido tão diferenciada. Estes dados corroboram com o estudo de Souza-Silva e colaboradores (2011), que demonstraram uma marcante distinção na estruturação das comunidades associadas a cavernas ferruginosas em relação àquelas encontradas em cavernas de outras litologias na Mata Atlântica Brasileira.

Uma explicação para o fato é que cavernas quartzíticas, durante o período de seca, podem estar funcionando mais como abrigo para distintas espécies transientes, que são atraídas não pelo recurso alimentar, mas sim por micro-habitats, deixando a fauna mais dissimilar no período seco

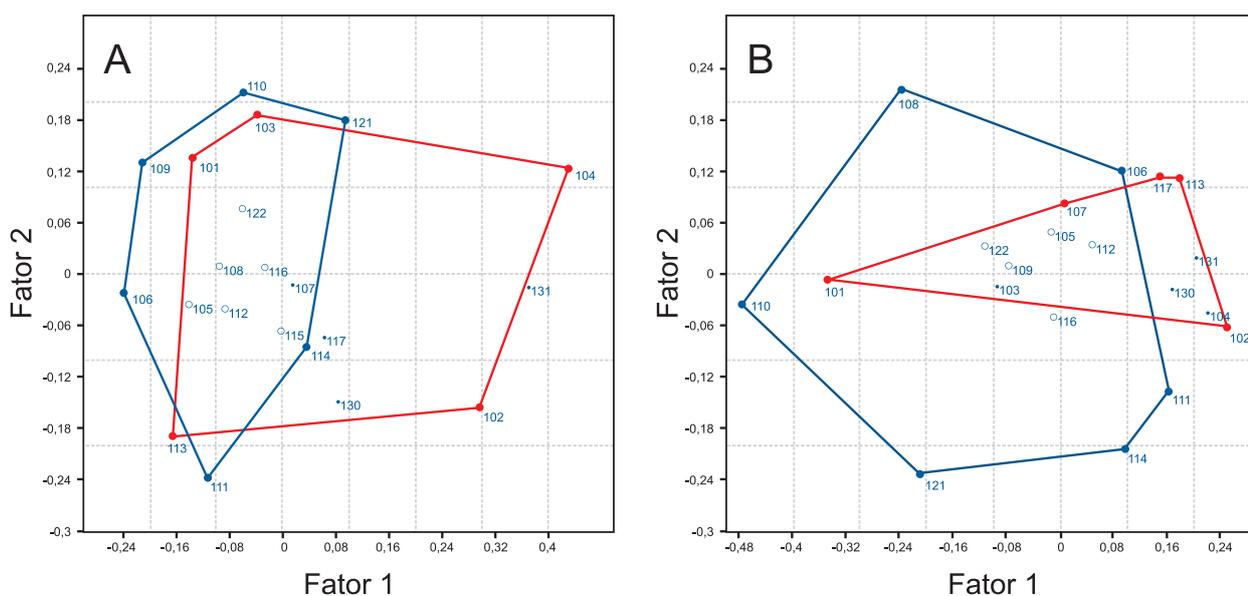


Figura 3 - Análise de n-MDS realizada para cavernas ferruginosas (polígonos azuis) e quartzíticas (polígonos vermelhos) localizadas em um mesmo complexo geológico na região de Carajás. A) Análise considerando os dados referentes ao período de seca; B) Análise considerando os dados referentes ao período de chuva na área. Vide explicações no texto.

do ano. Isto se deve, em parte, ao fato de que a vegetação externa nestas áreas aparentemente é mais afetada pela seca do que aquela presente nos campos metalíferos. Por outro lado, cavernas ferruginosas, por apresentarem grande quantidade de conexões com o meio externo, podem eventualmente receber maior quantidade de recursos tróficos durante os períodos chuvosos, o que atrairia mais espécies epígeas, edáficas e intersticiais, elevando a dissimilaridade entre as cavernas nesta estação do ano. Além do mais, a conectividade com o meio externo permite que espécimes de pequenos invertebrados presentes no solo e no meio subterrâneo superficial (MSS) sejam lixiviados para as macrocavernas e, devido às condições favoráveis de umidade e temperatura durante a época chuvosa, estas espécies podem constituir, mesmo que temporariamente, populações nestes ambientes. Há ainda a possibilidade de que os habitats preferenciais de muitas espécies de microartrópodos sejam os canalículos, que, eventualmente, podem tornar-se repletos de água nos períodos chuvosos, forçando estas populações a migrarem para as macrocavernas.

Troglóbios

As cavernas ferruginosas brasileiras certamente destacam-se em função da grande riqueza de espécies troglóbias, especialmente quando comparadas às cavernas inseridas em outras litologias (Ferreira 2005, Souza-Silva *et al.* 2011). Segundo estes autores, aspectos como a superficialidade das cavernas, a rede de canalículos e a “severidade” ambiental dos habitats externos em função da altitude são os principais fatores a serem considerados quando se tem a intenção de discutir os modelos evolutivos que levaram à formação destes grupos “relictos”.

A superficialidade de muitas cavernas ferruginosas contribui para a evolução de grupos relictos de duas formas: cavernas mais superficiais são mais facilmente colonizadas por organismos provenientes de micro-habitats externos por outras vias que não a entrada “principal” (macroscópica), como os canalículos. Além disso, tal superficialidade também contribui para o acesso de raízes de plantas da vegetação externa. Tais raízes, ao atingirem amplos espaços subterrâneos, acabam por desenvolver-se, formando, muitas vezes, amplos sistemas radiculares que funcionam como recurso trófico para várias espécies de invertebrados. Desta forma, a superficialidade das cavernas contribui tanto para a colonização por invertebrados quanto para a manutenção de suas populações. Tal fato deve-se à ocorrência de uma contínua produtividade primária “indireta” (via crescimento radicular), que leva à manutenção de considerável volume de nutrientes no interior de muitas cavernas.

A relativa severidade dos ambientes epígeos existentes sobre muitas destas cavernas contribui para a colonização ativa dos ambientes subterrâneos. Devemos considerar não somente as condições atuais, mas também as condições pretéritas, lembrando que os terrenos ferruginosos sofreram um lento desgaste nas últimas dezenas de milhões de anos. Assim, inúmeras fisionomias externas se sucederam ao longo da evolução destas paisagens. Em cavernas associadas a sistemas externos menos severos (como florestas), a colonização de muitos grupos pode ocorrer acidentalmente. Além disso, a procura pelos habitats subterrâneos tende a ser menor, tendo em

vista a qualidade ambiental do sistema externo. Grande parte das cavernas ferruginosas associa-se a um sistema externo susceptível a grandes variações de temperatura e umidade.

As formações vegetais mais abertas, além de se caracterizarem como sistemas de baixa produtividade, permitem uma elevada exposição solar direta junto ao solo. Tais características levam muitas espécies a possuírem hábitos noturnos e, conseqüentemente, a se abrigarem durante o dia em micro-habitats, como espaços sob rochas (Ferreira & Souza-Silva 2001). Muitos destes espaços são conectados a canalículos, o que favorece o acesso a habitats mais estáveis, levando a “procura” por sistemas subterrâneos. Aliada a este fato está a possibilidade de manutenção trófica do sistema subterrâneo, o que pode atrair ainda mais espécies para estes compartimentos.

A importância da altitude como determinante da evolução de alguns *taxa* troglóbios também merece atenção (Picker & Samways 1996). Cavernas associadas a elevadas altitudes ocorrem em locais de grande adversidade climática externa, devido às maiores amplitudes térmicas e mesmo aos ventos mais intensos que em locais mais rebaixados. Desta forma, Ferreira (2005) e Souza Silva e colaboradores (2011) mencionaram tais efeitos ao constatarem que cavernas ferruginosas situadas em maiores altitudes apresentam uma maior riqueza de espécies troglomórficas.

Por fim, outro componente aparentemente importante para a evolução de troglóbios em cavernas ferruginosas é o tempo. Shuster e colaboradores (2012) realizaram um extenso estudo sobre a estabilidade das cangas associadas especialmente à região de Carajás, por meio de isótopos de hélio, medidos em amostras de hematita e goetita removidas de diferentes porções da canga. Tais autores verificaram que a canga de Carajás sofreu uma taxa muito lenta de erosão superficial ao longo dos últimos milhões de anos. Segundo estes autores, a superfície da canga é extremamente resistente a processos erosivos, especialmente quando se considera que ela se localiza em ambiente tropical úmido. No entanto, detalhes do perfil profundo da canga sugerem que, a despeito de sua estabilidade superficial, a canga mostrou-se internamente dinâmica, tendo ocorrido translocação de materiais, além de processos de dissolução e reprecipitação (Shuster *et al.* 2012). Corroborando o anteriormente exposto, Auler e colaboradores (2014) atestaram que processos espeleogenéticos sob os quais se desenvolveram as cavernas ferruginosas no Brasil possuem inúmeros indicativos de hipogênese, associada a processos bioespeleogênicos, que ocorreram em grandes escalas de tempo (da ordem de centenas de milhões de anos), o que atesta a elevada idade destas cavernas, especialmente quando comparadas às cavidades associadas a outras litologias.

Tais dados demonstram claramente que espaços subsuperficiais dinâmicos são extremamente antigos nestes ambientes. Muitos destes espaços podem ter abrigado espécies ancestrais de muitos troglóbios atuais, que podem ter colonizado estes espaços há um tempo muito superior àquele especulado para a evolução de espécies associadas a cavernas calcárias, por exemplo. Tal fato também poderia contribuir para a maior quantidade de espécies troglomórficas observadas em cavernas ferruginosas, quando comparadas às demais litologias (Souza-Silva *et al.* 2011).

Composição, endemismos e singularidades

Embora exista uma considerável riqueza de espécies troglóbias associadas às cavernas ferruginosas brasileiras, apenas uma pequena parte encontra-se descrita. Considerando os espécimes presentes na coleção do Centro de Estudos em Biologia Subterrânea da Universidade Federal de Lavras, bem como referências a espécies troglomórficas retiradas de alguns relatórios técnicos e literatura, existem, no momento, cerca de 150 espécies troglomórficas (nem todas necessariamente troglóbias) associadas às cavernas ferruginosas brasileiras. Destas, somente 10 encontram-se descritas: *Brasilomma enigmatica* Brescovit, Ferreira & Rheims, 2012 (Araneae: Prodidomidae), *Harmonicon cerberus* Pedroso & Baptista, 2014 (Araneae: Dipluridae), *Circoniscus buckupi* Campos-Filho & Araujo, 2011 (Isopoda: Scleropactidae), *Circoniscus carajasensis* Campos-Filho & Araújo, 2011 (Isopoda: Scleropactidae), *Troglobius ferroicus* Zeppelini, Da Silva & Palacios-Vargas, 2014 (Collembola: Paronellidae), *Coarazuphium tapiaguassu* Pellegrini & Ferreira, 2011 (Coleoptera: Carabidae), *Copelatus cessaima* Caetano, Bená & Vanin, 2013 (Coleoptera: Dyticidae), *Ferricixius davidi* Hoch & Ferreira, 2012 (Hemiptera: Cixiidae); *Glomeridesmus spelaeus* Iniesta, Ferreira & Wesener, 2012 (Glomeridesmida: Glomeridesmidae) e *Pseudonannolene spelaea* Iniesta & Ferreira 2013 (Spirostreptida: Pseudonannolenidae). Algumas espécies troglóbias são mostradas na figura 4.

Das dez espécies troglóbias descritas, somente três habitam cavernas do Quadrilátero Ferrífero (*Brasilomma enigmatica*, *Troglobius ferroicus* e *Ferricixius davidi*). Todas as demais habitam cavernas da região de Carajás. O nível de endemismo das espécies troglóbias mostra-se bastante variável. Existem desde espécies de ampla distribuição, que podem estender-se além dos limites da própria litologia ferruginosa (como o caso da aranha *Brasilomma enigmatica*, encontrada em cavernas ferruginosas, calcárias e quartzíticas em uma extensão que se aproxima de 250 km lineares), até espécies restritas a uma única caverna (como o caso da cigarrinha *Ferricixius davidi*, endêmica à gruta MP08, em Itabirito, MG).

Tais diferenças em níveis de endemismos certamente resultam de fatores distintos. O primeiro deles (e talvez um dos mais determinantes) é a geomorfologia local, que pode favorecer ou desfavorecer contatos subsuperficiais entre macrocavernas, aumentando ou reduzindo a distribuição de uma dada espécie. Como exemplo, destaca-se a clara diferença nos padrões de similaridade da fauna troglóbia associada às cavernas do Quadrilátero Ferrífero e de Carajás.

A figura 5 apresenta dois gráficos de n-MDS elaborados para algumas cavernas de Carajás e do Quadrilátero. Tais gráficos desconsideraram espécies “únicas”, tendo em vista o fato de que as mesmas levariam a ruídos nas análises por ocorrerem em uma única caverna. Observando-se tal figura, percebe-se que as cavernas do Quadrilátero Ferrífero não formam agrupamentos distintos, a despeito da aparente “compartimentalização” geomorfológica desta formação. Assim, percebe-se que, a princípio, existem conexões subsuperficiais entre estas macrocavernas, que permitem o trânsito de espécies por quase todo o Quadrilátero. Por outro lado, as cavernas presentes em Carajás comportam-se de forma completamente distinta. Cavidades presentes em uma dada unidade (platô) possuem alta similaridade de fauna troglóbia, indicando a existência de um fluxo



Figura 4 - Espécies troglóbias encontradas em cavernas ferruginosas do Brasil. Carajás: A) *Circoniscus* sp. (Isopoda: Scleropactidae); B) *Glomeridesmus* sp. (Diplopoda: Glomeridesmida); C) *Charinus* sp. (Amblypygi: Charinidae); D) Caponiidae (novo gênero) (Araneae); E) *Coarazuphium* sp. (Coleoptera: Carabidae); F) *Pseudonannolene spelaea* (Spirostreptida: Pseudonannolenidae); Quadrilátero Ferrífero: G) *Ferricixius davidi* (Hemiptera: Cixiidae); H) *Spinopilar* sp. (Opiliones: Gonyleptidae); I) *Brasilomma enigmatica* (Araneae: Prodidomidae); J) *Ochyrocera* sp. (Araneae: Ochyroceratidae); K) *Pseudochthonius* sp. (Pseudoscorpiones: Chthoniidae); L) *Masteria* sp. (Araneae: Dipluridae).

de espécies entre as macrocavernas dessa unidade. No entanto, é notável a dissimilaridade observada entre cavernas de unidades distintas, o que demonstra que não há trânsito de troglóbios entre cada platô. Assim, as espécies troglóbias que existem em um dado platô são completamente distintas daquelas que existem em outros platôs na Serra de Carajás.

A grande similaridade de espécies troglóbias observada em cada platô na região de Carajás indica um fluxo de espécies entre cavernas, como previamente mencionado. Tal fluxo certamente resulta da existência de espaços subterrâneos que permitem migrações de espécies entre cavernas. Tais espaços (canalículos presentes na canga) podem até mesmo representar, para muitas espécies, o principal habitat, como ocorre para várias espécies troglóbias associadas ao Meio Subterrâneo Superficial (MSS), amplamente estudado na Europa (ex. Lopez & Oromí 2010). A figura 6 mostra a distribuição de algumas espécies troglomórficas presentes em um platô na região de Carajás. As cavernas nas quais uma dada espécie ocorre (representadas por pequenos círculos) foram unidas por pequenas retas, indicando uma distribuição mínima para cada espécie. Destaca-se que tais espécies podem movimentar-se entre cavidades somente por vias subsuperficiais, já que são restritas aos habitats subterrâneos. É interessante notar que a distribuição mínima é bastante sobreposta quando se consideram diferentes espécies, mesmo para aquelas de hábitos bastante distintos. Este fato reforça a ideia de que as distribuições populacionais destas espécies vão bem além das macrocavernas. Assim, é extremamente plausível assumir que cada um dos platôs presentes na Serra de Carajás pode eventualmente representar uma grande e única caverna, conformada de macrogalerias interconectadas por gigantescos sistemas de canalículos. Nesta perspectiva, a consideração de macrocavernas como as unidades de análise para fins de conservação (que é o atualmente recomendado pela legislação brasileira), perde o sentido para cavernas presentes nesta área, já que, ao se permitir a supressão de certas cavernas (consideradas de relevância não máxima), seriam suprimidas na verdade regiões de uma grande caverna.

Outro importante fator que pode determinar padrões gerais de distribuição de espécies troglóbias diz respeito a preferências biológicas ou ambientais. Embora existam espécies de ampla distribuição, como mencionado anteriormente (*Brasilomma enigmatica*, Brescovit, Rheims & Ferreira, 2012), existem também espécies de distribuições mais restritas, chegando a níveis de endemismo extremo. A ampla distribuição certamente ocorre em casos de existência de conexões subsuperficiais unindo amplas áreas (fatores geomorfológicos), associadas a hábitos alimentares generalistas e eventual resistência a prolongados períodos de escassez alimentar (fatores bióticos) que permitiriam migrações entre áreas. Tais condições certamente não são comuns, dada a baixa frequência de espécies de ampla distribuição.

Preferências por micro-habitats também podem ser determinantes na distribuição de espécies troglóbias. Na região de Carajás, análises realizadas com espécies troglóbias presentes em um mesmo platô ferruginoso revelaram interessantes padrões de utilização de cavernas, que podem ser reflexo de preferência por micro-habitats. A figura 7 compreende uma análise de n-MDS realizada considerando-se espécies troglóbias presentes em um platô em Carajás. Cada caverna compreende um ponto no gráfico. Percebe-se claramente a formação de três agrupamen-

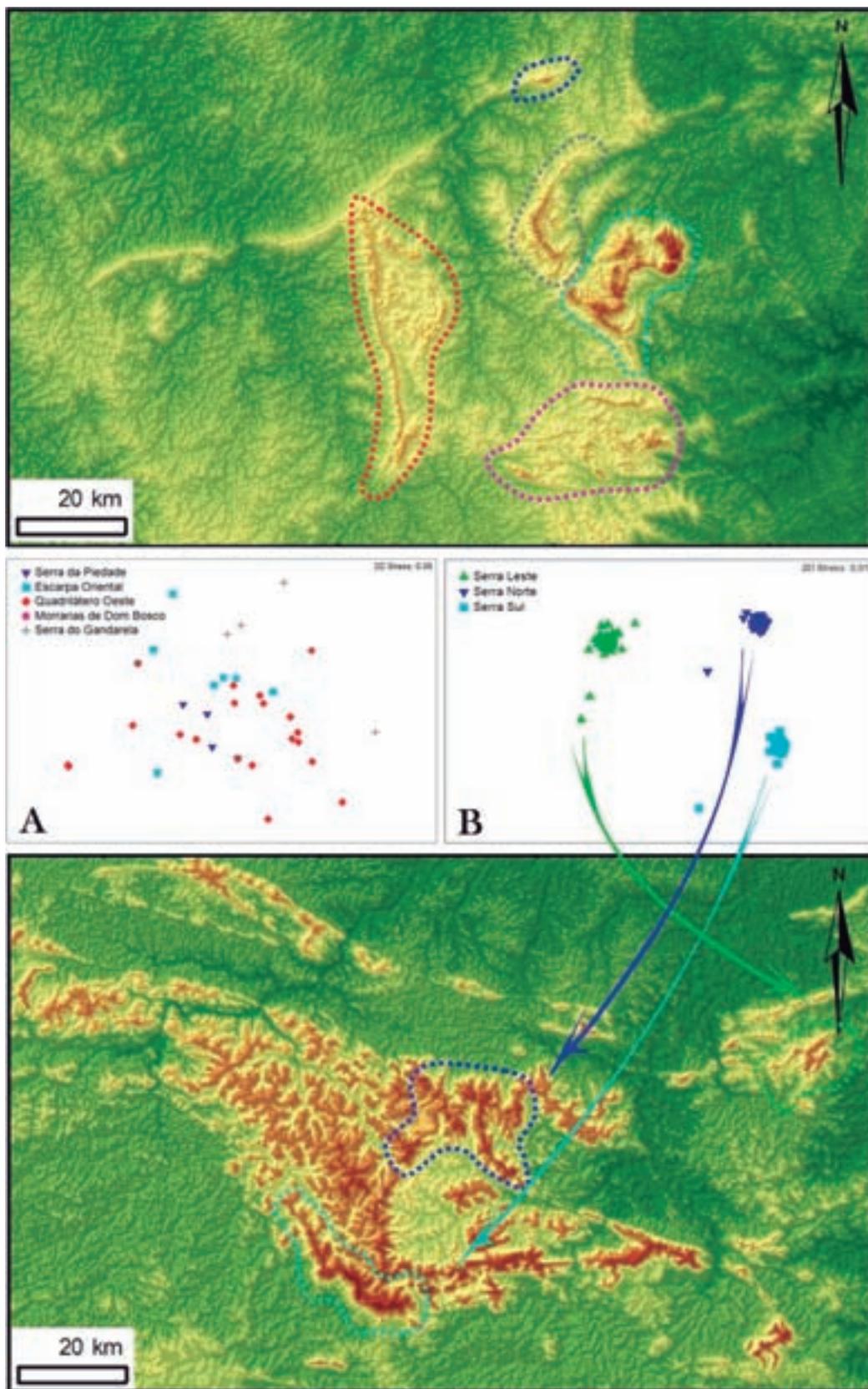


Figura 5 - Análise de n-MDS realizada para algumas cavernas ferruginosas do Quadrilátero Ferrífero (A) e de Carajás (B), considerando somente espécies troglóbias. As unidades presentes em cada formação são representadas em cores distintas e suas respectivas localizações encontram-se nos mapas hipsométricos de cada área: topo da figura: Quadrilátero Ferrífero; base da figura: Carajás. Vide explicações no texto.

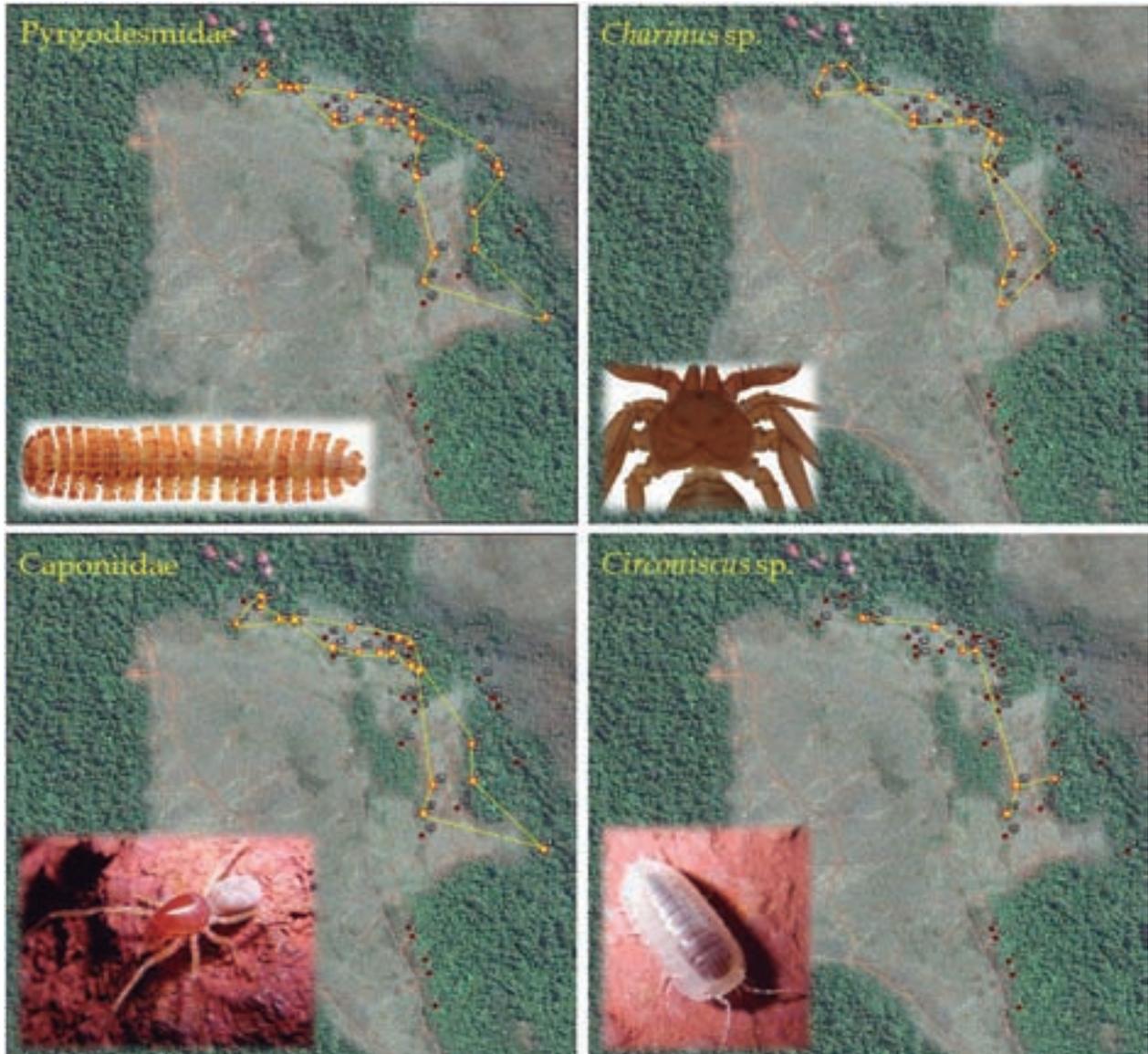


Figura 6 - Distribuição de algumas espécies troglóbias em um platô ferruginoso na região de Carajás. Os círculos vermelhos indicam as cavernas presentes na área e os círculos amarelos, conectados por retas, indicam a distribuição mínima de cada espécie identificada na figura. Vide explicações no texto.

tos disjuntos, cada qual compreendendo cavernas com alta similaridade de espécies troglóbias. O interessante é que, aparentemente, as conexões subsuperficiais que permitem migrações entre macrocavernas existem unindo todo o sistema, embora nem todas as espécies apresentem-se amplamente ou uniformemente distribuídas. Uma fotografia aérea da área (incluindo as localizações das cavernas) foi sobreposta ao gráfico, e cada grupo evidenciado pela análise de n-MDS foi associado às cavernas correspondentes na imagem aérea. Percebe-se claramente que um destes grupos compreende cavernas mais “interiores” no platô (grupo amarelo), enquanto outro grupo compreende cavernas preferencialmente associadas às “quebras” na canga (grupo

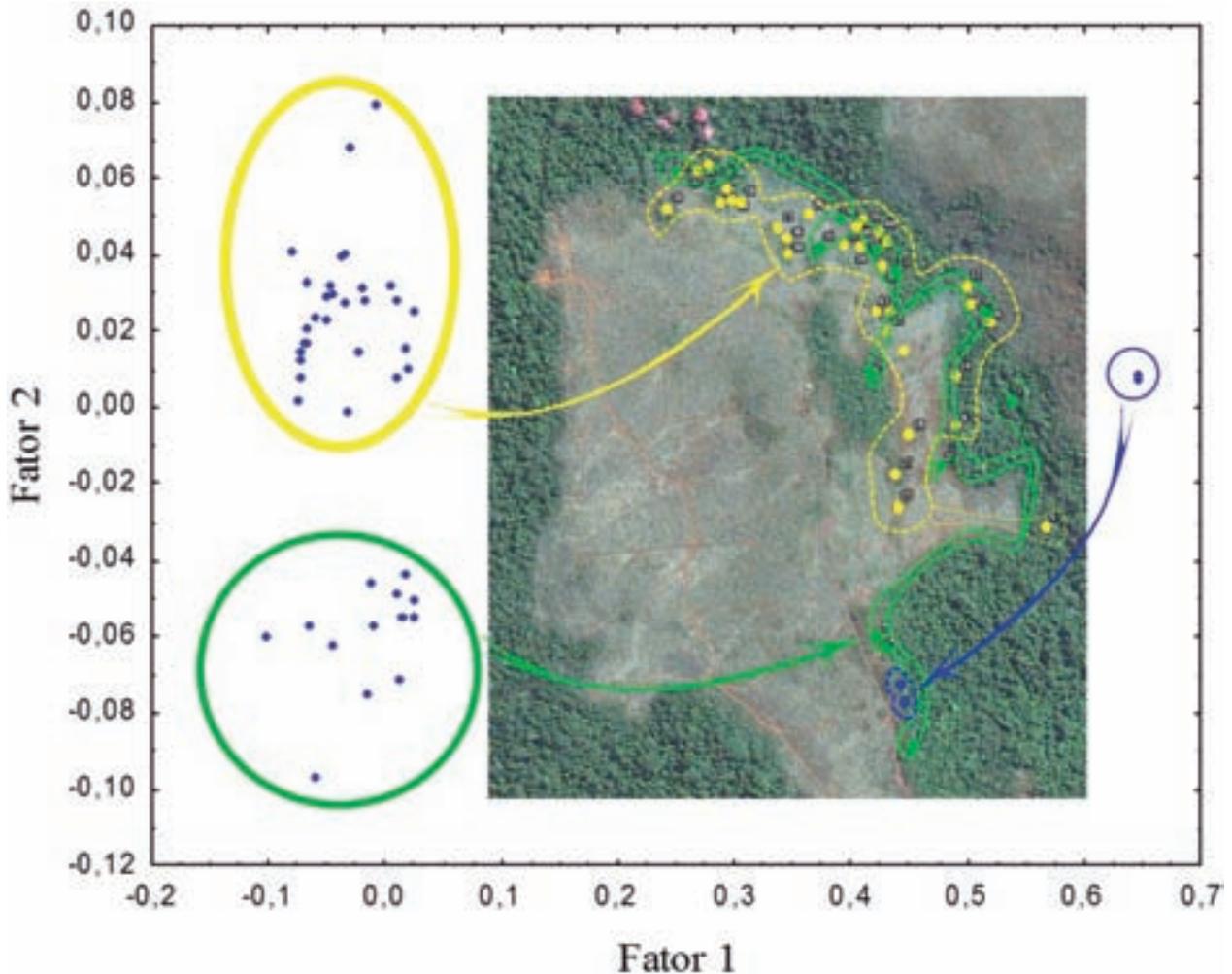


Figura 7 - Análise de n-MDS realizada para as cavernas ferruginosas presentes em um platô ferruginoso na região de Carajás, considerando somente espécies troglóbias. As cavernas são representadas por pontos coloridos em uma imagem da área, e cada agrupamento gerado pela análise é associado às respectivas cavernas na imagem. Vide explicações no texto.

verde). Por fim, um pequeno grupo formado por somente duas cavernas aparece isolado dos demais (grupo azul). Tais cavernas, localizadas uma ao lado da outra, também se associam à quebra da canga. Tal padrão sugere que características específicas a cada uma destas microrregiões (talvez ligadas ao microclima ou à disponibilidade e tipo de recurso trófico) tem importância na determinação de quais espécies irão ocorrer em cada uma destas unidades. Assim, percebe-se que, mesmo considerando cada platô em Carajás como uma grande caverna, diferentes regiões podem exibir características distintas, que por sua vez determinam diferenciação na ocorrência e distribuição da fauna. Em resumo, estas “super-cavernas” não são homogêneas em termos biológicos.

Dificuldades em determinar troglomorfismos

O uso de troglomorfismos para diagnosticar espécies troglóbias vem sendo largamente utilizado, especialmente em regiões tropicais, em função da impossibilidade, para a quase totalidade dos grupos, de se determinar se uma espécie é, de fato, restrita ao ambiente subterrâneo. Tal impossibilidade está obviamente ligada à megadiversidade dos ambientes epígeos em regiões tropicais, aliada ao grande desconhecimento taxonômico da maioria dos grupos de invertebrados. Os troglomorfismos mais comuns para muitos grupos compreendem a redução da pigmentação melânica, bem como das estruturas oculares e asas, além do alongamento de apêndices locomotores e sensoriais.

No entanto, a determinação de características troglomórficas não é tão simples. Tais características diferem no caso de organismos pertencentes a *taxa* distintos. Certos grupos, por exemplo, possuem espécies sempre despigmentadas e anoftálmicas, mesmo no ambiente epígeo (e.g. Palpigradi). Nestes casos, os troglomorfismos são mais específicos (para Palpigradi: alongamento dos flagelômeros, aumento no número de órgãos laterais, razão entre os comprimentos do propeltídio e do basitarso IV, razão entre os comprimentos da tíbia e do basitarso IV, dentre outros) (Souza & Ferreira 2012). Desta forma, é necessário conhecer a biologia de cada grupo no intuito de diagnosticar efetivamente a existência, ou não, de troglomorfismos. Despigmatação e anoftalmia, para muitos grupos, não representam troglomorfismos.

Recentes inventários conduzidos em ambientes ferruginosos epígeos (como serrapilheira, espaços sob rochas, entre outros) têm revelado espécies com muitas das características morfológicas tidas como troglomórficas. Organismos pertencentes a grupos para os quais a despigmatação e anoftalmia são incomuns (ex. Diptera) tem sido encontrados exibindo tais características, mesmo sem uma associação direta com as cavernas. A figura 8 ilustra algumas espécies coletadas em ambientes externos (não cavernícolas) da região do Quadrilátero Ferrífero e que exibem morfologias que seriam condizentes com os típicos troglomorfismos observados em espécies troglóbias.

Considerando o supracitado, levantam-se duas questões de extrema relevância: 1) Considerando que tais organismos não são troglóbios, até que ponto as pressões seletivas encontradas em outros habitats superficiais podem “moldar” características troglomórficas em espécies não troglóbias? e 2) considerando que sejam troglóbias, até onde uma espécie troglóbia pode aproximar-se da superfície?

Alguns exemplos merecem ser mencionados no intuito de discutir, mesmo que brevemente, as questões levantadas no parágrafo anterior. A primeira delas diz respeito a até que ponto (ou sob que circunstâncias) estruturas como olhos, por exemplo, regridem durante a evolução de espécies troglóbias. Em um primeiro momento, pode-se pensar que qualquer troglóbio sempre tenha a tendência a regredir estruturas oculares (até que as mesmas desapareçam), tendo em vista a evolução em um ambiente afótico. Mas será que de fato esta é sempre a regra? Um estudo comparando os olhos de besouros da família Carabidae com diferentes graus de especialização à vida cavernícola sugeriu que espécies troglóbias associadas a sistemas subterrâneos superficiais



Figura 8 - Espécies troglomórficas não troglóbias encontradas em sistemas epígeos ferruginosos do Quadrilátero Ferrífero: A) *Pygmarrhopalites* sp. (Collembola: Arrhopalitidae); B) Phoridae sp. (Diptera). As setas amarelas indicam a ausência de olhos, a seta vermelha indica a pronunciada redução das asas e as setas verdes indicam o alongamento de apêndices, todas estas características, comumente associadas a troglomorfismos.

utilizam estímulos de luz fraca para a orientação no tempo ou espaço, de modo que a regressão evolutiva destas estruturas foi interrompida em distintos estados morfológicos e funcionais (Bartkowiak *et al.* 1991). Algumas espécies brasileiras podem ter evoluído sob circunstâncias semelhantes, como o caso de espécies troglóbias do gênero *Coarazuphium*, associadas a habitats subterrâneos superficiais (especialmente cavernas ferruginosas). Espécies como *Coarazuphium tapiaguassu*, de cavernas ferruginosas de Carajás, mantiveram olhos vestigiais, que permitiram a eles detectar (e evitar) luz solar, prevenindo efeitos deletérios desta radiação sobre estes organismos (Pellegrini & Ferreira, 2011). Outro exemplo interessante refere-se a opiliões troglóbios *Megalopsalis tumida* (Eupnoi) e *Hendea myersi* (Laniatores), encontrados em cavernas da Nova Zelândia. Tais organismos, embora troglóbios, possuem olhos desenvolvidos e funcionais, já que se alimentam de larvas do díptero bioluminescente *Arachnocampa luminosa* (Meyer-Rochow e Liddle, 1988; Meyer-Rochow, 2003).

Outro aspecto que merece menção é a própria condição ou extensão de habitat ocupado por uma espécie troglóbia. Embora conceitualmente espécies troglóbias são aquelas restritas a habitats subterrâneos, de fato, qual a extensão destes habitats? As cavernas são conectadas à superfície por uma infinidade de fraturas, canais, descontinuidades, entre outras estruturas, que fazem do meio subterrâneo algo muito mais complexo e extenso que somente uma macrocaverna.

Um estudo realizado com besouros troglóbios na Eslovênia verificou que existe uma grande migração vertical destes organismos, dependendo da estação do ano (Polak 2012). A caverna que foi alvo deste estudo possuía dimensões modestas, embora fortes fluxos de ar, perceptíveis em fissuras na superfície, indicassem a existência de um grande sistema subterrâneo. Na primavera e no verão, os besouros *Parapropus sericeus* e *Prospelaebates brelihi* (ambos Leptodirinae) eram

comumente encontrados na caverna, onde o gelo se acumula durante o inverno. *Bathyscimorphus serkoi*, *Bathysciotes khevenhuelleri* e *Anopthalmus schmidti* eram comuns no MSS e em ambientes de solos profundos da dolina onde se situa a entrada da caverna. No final do outono a composição de espécies alterou-se significativamente, uma vez que os besouros desapareceram do interior da caverna. Surpreendentemente, no final de novembro, *P. brelihi* e *B. serkoi* apareceram no MSS e até mesmo sobre a superfície em grande abundância. Medições de temperatura realizadas em diferentes ambientes da área de estudo ao longo do ano mostraram claramente que as migrações verticais sazonais dos besouros subterrâneos são afetadas por mudanças significativas na temperatura. As baixas temperaturas em cavernas de gelo forçam os besouros a migrar para regiões mais profundas da caverna ou buscar refúgio no MSS ou solos mais profundos, onde as temperaturas de inverno não alcançam valores abaixo de 0°C (Polak 2012). Tal estudo mostra claramente como os habitats de espécies troglóbias podem ser dinâmicos, sendo possível até mesmo uma aproximação da superfície por breves períodos, dependendo da condição climática vigente.

Por fim, da mesma forma que uma espécie epígea pode acidentalmente adentrar em uma caverna, o mesmo pode ocorrer com uma espécie troglóbia, que pode “acidentalmente” sair de uma caverna. O conceito de troglóbio é populacional, portanto a negação do seu caráter também o é. Assim, para se confirmar que uma espécie não é troglóbia, obrigatoriamente a mesma deve possuir populações estabelecidas no meio externo. O fato de um único exemplar ser encontrado no ambiente externo não exclui a possibilidade de que seja pertencente a uma espécie troglóbia, que acidentalmente atingiu o meio epígeo.

Ecologia

Embora estudos referentes à vida associada a ambientes subterrâneos venham sendo desenvolvidos no mundo há mais de um século, poucos estudos focaram aspectos relacionados às relações entre as comunidades subterrâneas e as características de seus habitats. Tal fato provavelmente decorre de certa “negligência” histórica em relação a táxons não troglóbios, o que resultou, para a grande maioria das cavernas, em uma impossibilidade de se realizar análises desta natureza, já que toda a comunidade não foi devidamente amostrada. Exceções são feitas para certas comunidades subterrâneas específicas, como, por exemplo, aquelas associadas ao guano de aves ou morcegos (Herrera, 1995; Ferreira & Pompeu, 1997; Ferreira & Martins, 1998,1999; Ferreira *et al*, 2000; Ferreira & Horta, 2001; Ferreira *et al*, 2007; Moulds, 2006).

No entanto, felizmente, para muitas cavernas ferruginosas brasileiras, dados referentes à comunidade de invertebrados foram coletados de forma satisfatória, possibilitando a análise de alguns importantes padrões de estrutura e dinâmica destas comunidades em relação aos seus habitats.

Relações entre características do habitat e parâmetros biológicos

Embora se tenha especulado durante décadas acerca da relação entre o tamanho de uma caverna e sua riqueza, esta relação foi pela primeira vez demonstrada empiricamente por Ferreira (2004). Segundo este autor, cavernas maiores tendem a ser mais heterogêneas do ponto de vista geomorfológico, o que provavelmente resulta em aumento da quantidade de micro-habitats. Consequentemente, um número maior de espécies pode se estabelecer nestas condições. Posteriormente, Souza-Silva e colaboradores (2011) também demonstraram esta relação, enfatizando que, em cavernas ferruginosas, ela tende a ser bem mais intensa do que em cavernas de outras litologias, como já mencionado anteriormente.

Considerando cerca de 240 cavernas amostradas na região de Carajás (Pará), observou-se uma clara relação de aumento da riqueza com o aumento do tamanho da cavidade ($R = 0,30$; $R^2 = 0,10$; $p < 0,000$). Provavelmente, as macrocavernas ferruginosas atuam “condensando” ou acumulando uma maior quantidade de recursos orgânicos, além de potencialmente poderem conectar-se a maior quantidade de canalículos (pelo aumento do volume subterrâneo). Tal condição faz com que as macrocavernas funcionem como “atratores” de fauna (pela quantidade e qualidade de recursos alimentares), sendo que esta atração pode ocorrer de forma exponencial, isto é, pequenos aumentos no desenvolvimento linear podem levar a um aumento exponencial de atratividade, elevando de forma surpreendente a quantidade de espécies presentes, diferentemente do que ocorre para outras litologias, onde tais canalículos não são abundantes.

Outro padrão interessante diz respeito à relação entre o número de espécies troglóbias e o tamanho das cavernas. Novamente, ao considerarmos cerca de 240 cavernas amostradas na região de Carajás, percebe-se claramente a relação de aumento do número de espécies troglóbias com o aumento do tamanho da cavidade ($R = 0,71$; $R^2 = 0,51$; $p < 0,000$) (Figura 9A). Mais uma vez, a dimensão das cavernas mostra-se importante não somente para a manutenção de elevada riqueza de espécies, mas também por permitir o estabelecimento e coexistência de maior número de espécies troglóbias.

Outra relação importante evidenciada em cavernas da região de Carajás é a observada entre riqueza total e riqueza de espécies troglóbias ($R = 0,66$; $R^2 = 0,43$; $p < 0,000$) (Figura 9B). Tal relação demonstra que, em um mesmo platô, cavernas mais ricas em espécies (independentemente das categorias a qual pertencem) tendem a possuir uma maior quantidade de troglóbios. Desta forma, é plausível assumir que pelo menos parte das condições que favoreceram a permanência e evolução de grupos no meio subterrâneo também favorece o estabelecimento e permanência atual de várias outras espécies, não troglóbias. Além disso, é notável o fato de que, ao se preservar uma caverna rica em espécies troglóbias, preserva-se consequentemente um número representativo de espécies não troglóbias, também associadas a estes sistemas.

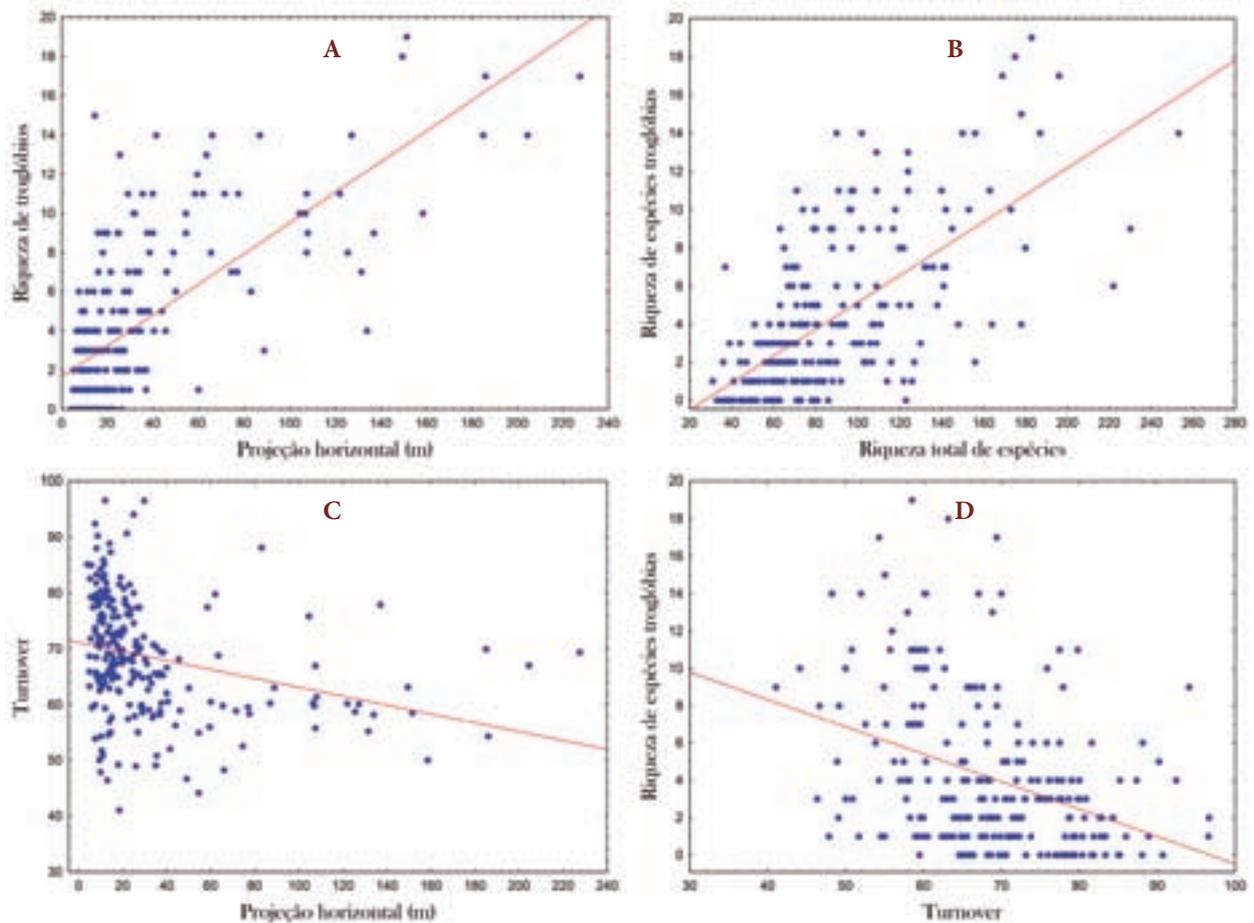


Figura 9 - Relações entre alguns parâmetros ecológicos e/ou métricos de cavernas da região de Carajás: A) Relação entre o tamanho das cavernas e o número de espécies troglóbias; B) Relação entre o número de espécies troglóbias e o número total de espécies presentes em cavernas; C) Relação entre o tamanho das cavernas e o *turnover* de espécies; D) Relação entre o número de espécies troglóbias e o *turnover* de espécies. Vide explicações no texto.

Turnover de espécies

O *turnover* de espécies compreende um parâmetro que determina a porcentagem de substituição de espécies em um dado sistema ao longo do tempo ou do espaço. A partir de dados provenientes de coletas realizadas em estações distintas (seca e úmida) em cavernas de um mesmo platô em Carajás, foi possível determinar o *turnover* temporal, levando em conta dados de presença e ausência de espécies através do índice de Harrison (1992), modificado de Whittaker (1960). O *turnover* corresponde a: β Harrison = $\{[(S/a) - 1]/(N - 1)\} * 100$; onde: S = riqueza total observada, a = riqueza média por caverna e N = número de amostragens (no caso, N=2, o que corresponde às coletas de seca e chuva, para cada caverna). Estas medidas variam de 0 (nenhum *turnover* ou substituição de espécies) a 100 (cada estação possui um conjunto único de espécies, isto é, a comunidade foi completamente substituída de uma estação para a outra) (Koleff *et al.* 2003). Assume-se aqui que sistemas subterrâneos mais “estáveis” do ponto de vista ecológico apresentam menores trocas de espécies ao longo do tempo.

Cavernas amostradas em um mesmo platô em Carajás apresentaram valores de *turnover*, em geral, bastante elevados, o que demonstra que as mesmas possuem uma tendência a considerável substituição de espécies entre estações seca e chuvosa. Para o conjunto analisado, 89,8% das cavernas apresentaram valores acima de 60%; 56,12% do total apresentaram valores acima de 70% e 19,4% do total apresentaram valores acima de 80%.

Foi realizada a análise de regressão múltipla entre o *turnover* de espécies e o tamanho e número de entradas das cavernas. O *turnover* relacionou-se negativamente com tamanho das cavernas (-0,47), positivamente com número de entradas (0,21) ($R = 0,53$; $p < 0,000$). Desta forma, esta substituição de espécies é maior em cavernas com muitas entradas, sendo, por outro lado, menor em cavernas de maior tamanho (Figura 9C).

Tal modelo corrobora com o esperado, já que um grande número de entradas aumenta os contatos com o ambiente externo aumentando as chances de colonização das cavernas por espécies acidentais ou transientes. Os efeitos das entradas de cavernas sobre a composição, distribuição e diversidade da fauna subterrânea já são, há muito, citados na literatura (Ferreira & Pompeu 1997, Ferreira & Martins 1998, Ferreira *et al.* 2000). Tais efeitos vão desde a determinação da distribuição da fauna subterrânea geral (Prous *et al.* 2004) até a distribuição de comunidades específicas, como aquelas associadas a depósitos de guano (Ferreira & Pompeu 1997, Ferreira & Martins 1998, Ferreira *et al.* 2000).

De acordo com Ferreira (2004), cavernas com muitas entradas podem ter áreas maiores de interface com o sistema epígeo circundante, aumentando assim, o estabelecimento de comunidades para-epígeas e mesmo de espécies acidentais (Ferreira & Martins 2001, Prous *et al.* 2004).

A relação negativa observada entre o tamanho de uma caverna e o *turnover* de espécies demonstra que cavernas maiores tendem a ser mais “estáveis” do ponto de vista ecológico quando comparadas a cavidades de pequeno porte, como abrigos. Assume-se aqui que a estabilidade ecológica relaciona-se à manutenção temporal dos componentes biológicos (espécies) de uma dada comunidade. Assim, sistemas com elevada substituição de espécies tendem a possuir baixa “manutenção” de um dado conjunto de populações ao longo do tempo, podendo ser considerados pouco “estáveis”.

Segundo Ferreira (2004), cavernas maiores tendem a apresentar maior estabilidade ambiental (a não ser que o incremento de tamanho seja acompanhado de um incremento no número e tamanho das entradas). Desta forma, aparentemente existe uma relação linear que obedece ao seguinte modelo teórico: \uparrow Tamanho da caverna \rightarrow \uparrow Estabilidade ambiental \rightarrow \downarrow *Turnover* de espécies \rightarrow \uparrow Estabilidade ecológica.

Assim, percebe-se que as cavernas presentes na região de Carajás tendem a apresentar-se altamente “mutáveis” ao longo do tempo (considerando seus componentes biológicos), especialmente aquelas de reduzido tamanho. No entanto, destaca-se que o número reduzido de coletas (somente duas em cada caverna) tornam estas interpretações parcialmente especulativas. Caso as cavidades tivessem sido amostradas por um maior período de tempo (pelo menos dois ciclos de seca e chuva) seria eventualmente possível definir quais cavernas realmente apresentam-se “instáveis” e quais apresentam um padrão de variação cíclico de grande amplitude. Estas

últimas não devem ser consideradas instáveis, já que sua estabilidade apresenta uma dinâmica ligada a grandes flutuações no número de espécies de suas comunidades. No entanto, estes padrões só podem ser diferenciados por meio de estudos de longa duração.

Por fim, é possível assumir, como hipótese mais plausível, que as cavernas de reduzido tamanho presentes na região de Carajás realmente compreendam sistemas de baixa estabilidade ecológica, sendo continuamente acessadas por inúmeras espécies provenientes do meio epígeo. Esta consideração traz consigo duas consequências: 1) as cavernas de reduzido tamanho tendem a apresentar menor relevância biológica, em função de sua natureza “mutável”; mas, em contrapartida: 2) as cavernas maiores, com baixos valores de *turnover*, tendem a possuir uma elevada relevância contextual, já que se destacam em relação à tendência geral das demais cavernas da área.

Corroborando a ideia do segundo argumento anteriormente apresentado, destaca-se a relação negativa observada entre o número de espécies troglomórficas e o *turnover* de espécies ($R = -0,49$; $p < 0,000$) para 244 cavernas presentes em Carajás (Figura 9D).

Percebe-se claramente que cavernas com mais espécies troglóbias são justamente aquelas com menores valores de *turnover*, que tendem a ser consideradas as mais ecologicamente “estáveis”. Caso esta hipótese seja real, cavernas mais estáveis são aquelas que apresentam condições mais propícias para a evolução (e manutenção) de espécies troglomórficas. Tal fato corrobora com o argumento de que cavernas com menores valores de *turnover* devem possuir uma maior relevância contextual, merecendo atenção e conservação. Entretanto, vale salientar que esta condição não exclui a possibilidade do encontro de espécies troglóbias nas demais cavidades, uma vez que a sazonalidade e conectividade entre cavernas, entre outras características, podem influenciar na ocorrência destas espécies.

Estruturação das comunidades

Uma grande diversidade de organismos utiliza diferentes fontes orgânicas no interior de cavernas ferruginosas, sendo possível observar que, mesmo em regiões geográficas distantes entre si (Quadrilátero Ferrífero e Carajás), os recursos que compõem a base das teias alimentares são similares. No entanto, a composição dos *taxa* nos diferentes níveis tróficos é distinta, como será discutido à frente. A primeira teia trófica proposta para cavernas ferruginosas foi idealizada para cavernas presentes no Quadrilátero Ferrífero (Ferreira 2005). Nesta teia, além dos recursos tradicionalmente encontrados em cavernas (como guano e detritos vegetais), as raízes apareceram como um importante recurso para a fauna destas cavernas. As raízes (Figura 10A) compreendem uma importante base trófica para cavernas ferruginosas. Elas podem ser diretamente consumidas por organismos fitófagos (Ortheziidae, Cixiidae Figura 10B) ou herbívoros, embora seus restos em decomposição também possam ser consumidos por inúmeras espécies detritívoras.

Além das raízes, detritos vegetais carregados pela água ou ventos (que se depositam como folhiço no piso de muitas cavernas – Figura 10C) servem de alimento para enorme gama de

organismos detritívoros generalistas, como isópodes (Figura 10D,E), colêmbolos (Figura 10F), diplópodes, ácaros, grilos, baratas, entre outros. O guano de morcegos (Figura 10G) também é consumido por inúmeros organismos, entre os quais destacam-se ácaros, diplópodes (Figura 10H,I,J) e dípteros (especialmente larvas). Reitera-se que o guano compreende um recurso trófico bem mais abundante em cavernas amazônicas (Carajás) do que no Quadrilátero Ferrífero, região na qual este tipo de recurso é bem menos representativo.

Embora as raízes, o folhiço e o guano compreendam os recursos mais comuns em cavernas ferruginosas, outros componentes orgânicos podem ocorrer, em muitos casos, servindo de recursos adicionais à fauna. Entre eles, destacam-se carcaças (Figura 10K), fungos (Figura 10L), fezes de outros animais (Figura 10M), plântulas (Figura 10N), actinomicetos (Figura 10O), entre outros, aos quais se associam uma grande variedade de detritívoros generalistas. Muitos destes recursos, no entanto, tendem a ser mais efêmeros que os anteriormente citados.

Alimentando-se das espécies detritívoras generalistas, existem inúmeros predadores, em sua maioria também generalistas. Destacam-se aranhas (Figura 10P,Q), amblipígiros (Figura 10R), esquizômidos (Figura 10S), opiliões, pseudoescorpiões e certos grupos de hexápodes, como alguns besouros (Figura 10T,U) e dipluros (Figura 10V). Por fim, merece menção a existência de predação *intra-guilda*, isto é, predadores alimentando-se de predadores (Souza-Silva & Ferreira 2014). Frequentemente, espécies de maior porte podem preda espécies de menor tamanho. Tais interações tendem a intensificar-se de acordo com o aumento do nível de oligotrofia da cavidade. Assim, cavernas mais pobres em recursos orgânicos tendem a apresentar menos espécies detritívoras, favorecendo a predação *intra-guilda*.

Aparentemente as cavernas ferruginosas do Quadrilátero Ferrífero possuem teias alimentares compostas preferencialmente por invertebrados edáficos de reduzido tamanho corporal, sendo que os predadores mais comuns são pequenos aracnídeos (aranhas, palpígrados, pseudoescorpiões), embora existam predadores-topo de maior tamanho, como aranhas Ctenidae e hemípteros Reduviidae, por exemplo (Ferreira 2005). Por outro lado, as teias tróficas das cavernas ferruginosas da região de Carajás parecem ser mais complexas, apresentando maior riqueza de invertebrados detritívoros, além de invertebrados e vertebrados predadores. Destaca-se, ainda, para as cavernas de Carajás, a presença relativamente comum de grupos raros ou inexistentes (até onde se conhece) para o Quadrilátero Ferrífero, como aracnídeos das Ordens Schizomida e Ricinulei, estes últimos restritos à região amazônica.

Ameaças

Entre os diferentes ecossistemas encontrados nos biomas brasileiros, os afloramentos ferruginosos surgem como os menos conhecidos e os mais ameaçados. Este status deve-se à sua restrita distribuição, associada aos principais depósitos de minério de ferro do país (Jacobi & Carmo 2008). As regiões que compreendem o Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, e Carajás, no Pará, compreendem algumas das principais áreas de exploração mineral do mundo,

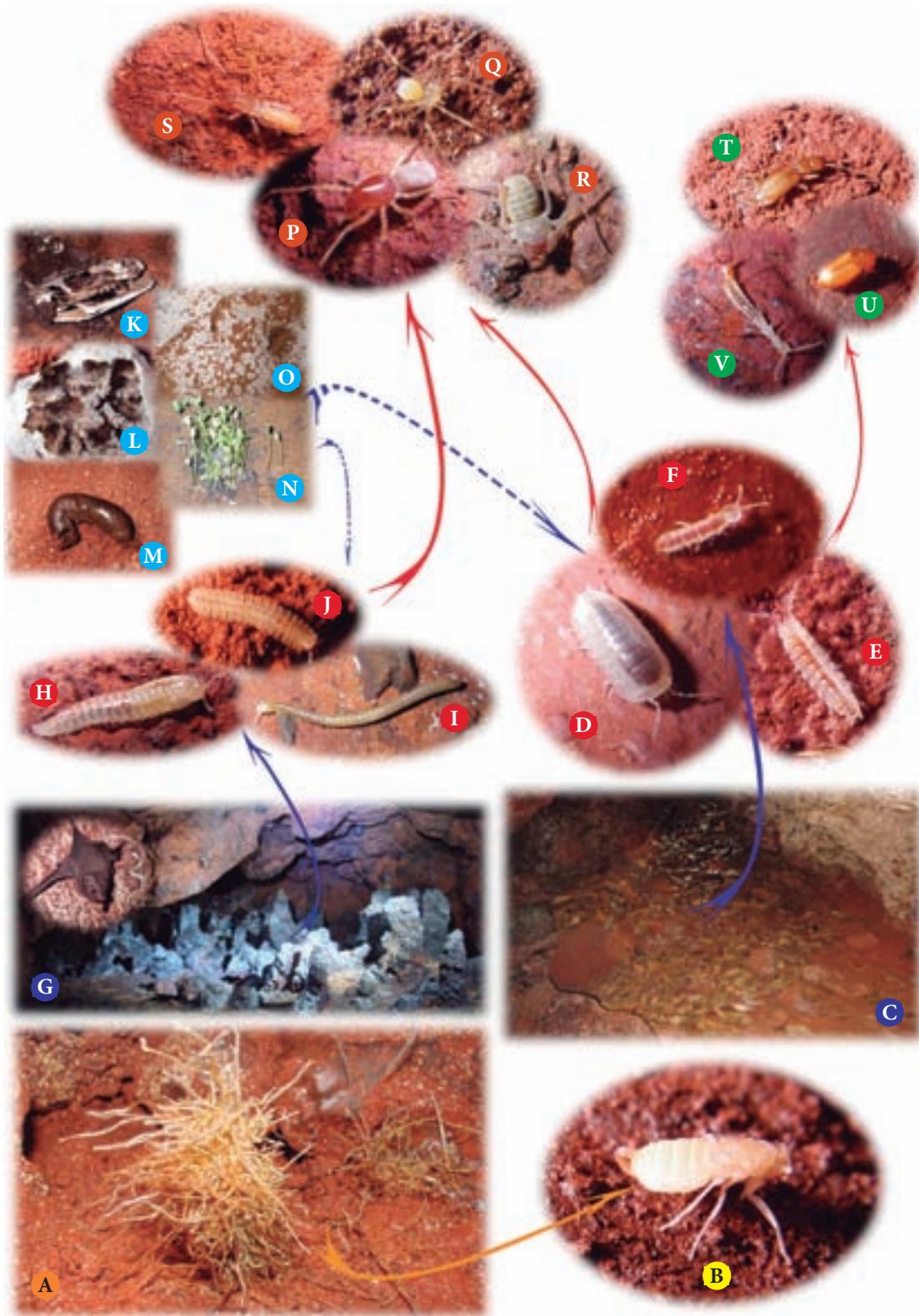


Figura 10 – Teia trófica hipotética geral para comunidades associadas a cavernas ferruginosas brasileiras. Optou-se aqui pelo uso de espécies troglóbias para ilustrar a fauna. As setas indicam o sentido de transferência de energia, e suas cores representam o nível trófico (de transferência). A seta tracejada indica relações menos frequentes. Seta amarela: Recurso primário (raízes) para consumidor primário; Setas azuis: recursos secundários (guano, depósitos vegetais e outros) para detritívoros generalistas; Setas vermelhas: detritívoros para predadores generalistas; Seta verde: predadores para predadores (predação *intra-guilda*). Vide explicações no texto para a legenda de letras.

principalmente em minério de ferro superficial. Este tipo de extrativismo minerário promove completa alteração da paisagem, uma vez que toda a crosta ferruginosa (canga) que recobre as reservas de minério de ferro é completamente removida e descartada para permitir o acesso aos depósitos minerais (Jacobi & Carmo 2008). Desta forma, tais atividades promovem imenso impacto na biodiversidade local e regional. Além das modificações na paisagem, as atividades minerárias promovem alterações irreversíveis no ambiente subterrâneo, principalmente devido à remoção da canga, onde a maioria das cavidades ferruginosas estão inseridas (Auler & Piló 2005). Assim, cavernas inseridas em áreas propensas à mineração estão passíveis de ser total ou parcialmente destruídas, promovendo a extinção local e regional de espécies que, em muitos casos, são restritas a estes ambientes e ainda desconhecidas pela comunidade científica.

Além da supressão das cavidades, a mineração promove impactos indiretos contra o ambiente subterrâneo através de alterações no ambiente epígeo. Conforme já discutido neste capítulo, praticamente toda a base trófica dos sistemas subterrâneos ferruginosos é proveniente dos ambientes externos adjacentes. Desta forma, mudanças drásticas na paisagem epígea adjacente às cavidades podem alterar significativamente o balanço hídrico e aporte de recursos tróficos para as cavernas. Além disso, durante a extração mineral, as escavações podem alcançar elevadas profundidades, expondo o lençol freático, de modo que os resíduos minerários podem contaminar os cursos d'água com metais pesados e elementos tóxicos (Veado 2006).

De acordo com Jacobi e Carmo (2008), em 2008 havia aproximadamente 50 minas abertas à exploração mineral na região do Quadrilátero Ferrífero, correspondendo a uma área de 2000 ha. Em Carajás, a área de produção ocupa aproximadamente 12400 ha, o equivalente a 3% da área protegida pela Floresta Nacional de Carajás e regiões adjacentes (Vale 2012). Entretanto, a crescente demanda pelos produtos e subprodutos minerários pelo mercado internacional e a pressão política interna para o crescimento econômico e desenvolvimento social aceleram o avanço minerário sobre novas áreas de exploração nestas regiões.

A expansão urbana e atividades que provêm da ocupação humana também podem ser consideradas importantes ameaças à biodiversidade presente nos geossistemas ferruginosos. Por estar localizada no centro de Minas Gerais e próxima à principal região metropolitana do estado, a região do Quadrilátero Ferrífero é particularmente afetada por esta situação. Em várias regiões do país e no mundo, problemas referentes à degradação ambiental são influenciados pela ausência de um planejamento da ocupação da terra (Marent *et al.* 2011). A região do Quadrilátero Ferrífero não é uma exceção: conforme demonstrado por Drummond e colaboradores (2005), em Minas Gerais, a expansão urbana provêm da ocupação desordenada, sem maiores preocupações com a conservação ambiental. O efeito das atividades agropecuárias, como resultado da ocupação humana, e a exploração de matérias-primas vegetais são exemplo disto. Oliveira (2008) exemplifica a pressão da expansão urbana sobre as áreas de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero: em 2007, houve uma tentativa de redução da área de preservação do Parque Estadual da Serra do Rola-Moça, importante área de preservação de campos ferruginosos, com aproximadamente 50 cavidades conhecidas, em iniciativa apresentada por empresas de mineração e ocupação de loteamentos urbanos.

Em Carajás, com a descoberta de uma das maiores reservas de minerais do mundo e o início da exploração nos anos 60, houve grande êxodo populacional para a região. Em 1988, foi instituído o município de Parauapebas, às margens do rio que denomina a cidade e delimita o perímetro da Floresta Nacional de Carajás. Com pouco mais de 30 anos de existência, o município já é o sexto mais populoso do Estado do Pará, com aproximadamente 180 mil habitantes (IBGE 2013). Este grande desenvolvimento econômico e social da região promoveu, ao longo dos anos, a exploração desordenada de recursos naturais e a degradação de importantes áreas da floresta amazônica. De acordo com os dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2011), uma análise dos resultados do monitoramento de pastagens realizado em 33 municípios próximos a Carajás confirma que a pecuária é uma atividade consolidada e em expansão na região. Muitos estudos demonstram que os principais motivos para o desmatamento da Amazônia brasileira referem-se principalmente à pecuária, agricultura de corte e queima, ou associada à exploração madeireira (Arima *et al.* 2005, Veríssimo *et al.* 1996, Ferreira & Almeida 2005). Conforme já informado, estas alterações ambientais causam impactos severos à manutenção da estabilidade ambiental característica dos ambientes subterrâneos.

Além dos impactos antrópicos diretos, o fogo pode ser considerado a principal fonte de perturbação natural deste bioma (Salgado-Labouriau & Ferraz-Vicentini 1994, Kauffman *et al.* 1994, Sanaiotti & Magnusson 1995, Mistry 1998, Moreira 2000, Miranda *et al.* 2002, Uehara-Prado *et al.* 2010, Frizzo *et al.* 2011). Entretanto, a ocupação humana nas proximidades de áreas de campos ferruginosos pode aumentar a frequência com que os incêndios ocorrem, promovendo alterações na paisagem externa e, conseqüente no ambiente hipógeo. Estudos relativos ao efeito das queimadas sobre comunidades de artrópodes de solo demonstram que elas promovem alterações nas populações presentes. Episódios de incêndios florestais aumentaram as densidades de formigas na Austrália e nas savanas africanas (Andersen 1991, Parr *et al.* 2004). Nos EUA, as populações de Hemiptera e gafanhotos também aumentaram após queimadas (Nagel 1973, Evans 1984), entretanto houve redução das populações de lagartas e besouros curculionídeos (Crawford & Harwood 1964, Bertwell & Blocker 1975). Em áreas de Cerrado (*stricto sensu*) próximo a Brasília (DF), Diniz (1997) observou um aumento na abundância de Coleoptera, Hemiptera e Lepidoptera nos primeiros meses após a queima, enquanto Collembola teve uma acentuada redução. Apesar de nenhum trabalho considerar os efeitos dos incêndios em cavidade presentes nos afloramentos ferruginosos, é provável que queimadas possam modificar a qualidade dos recursos importados, alterar os padrões abióticos das cavidades (como a temperatura e a umidade) e ainda promover a migração de espécimes das áreas externas, que estarão em busca de abrigos, para compartimentos subterrâneos. Estes processos tornam os sistemas subterrâneos susceptíveis a diversas alterações, que certamente podem comprometer seu frágil equilíbrio.

Apesar das ameaças aqui apresentadas serem extremamente preocupantes para a conservação dos ecossistemas ferruginosos, estas podem ser evitadas e mitigadas através da aplicação de políticas públicas que visem a garantir o manejo sustentável destas áreas. Para tanto, é preciso investir em técnicas de extração mineral cada vez menos impactantes, na criação de mecanismos para o controle ordenado da ocupação populacional nos centros urbanos limítrofes à Unidades

de Conservação e na aplicação de programas visando a evitar a propagação de incêndios florestais nessas áreas. A manutenção da frágil diversidade presente sob os campos ferruginosos, singular e ainda pouco conhecida, depende do monitoramento das ameaças que podem promover alterações irreversíveis no equilíbrio destas comunidades.

Políticas públicas e cenário futuro

A proteção ou uso das cavidades que constituem patrimônio espeleológico nacional é assegurada por uma série de resoluções e decretos específicos presentes na legislação brasileira. Conforme previsto na Constituição Federal de 1988 (BRASIL 1988), as cavernas são consideradas bens da União (Art. 20, inciso X), sendo portanto, de domínio público. Entretanto, o crescimento de áreas urbanas e a demanda econômica pela produção mineral despertou a necessidade de medidas mais efetivas para a proteção do ambiente subterrâneo. Desta forma, em 1990, foi instituído o Decreto 99556/90, o qual dispunha que as cavernas deveriam ser integralmente preservadas e conservadas, independentemente de suas feições, localização ou atributos. A partir deste Decreto, as atividades de extração mineral que se localizavam em áreas onde ocorriam cavernas foram suspensas.

Em 2004, as cavidades passam a ser relevantes para o processo de Licenciamento Ambiental, conforme Resolução nº 247 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Nesta, é apresentada, pela primeira vez, a necessidade de avaliação de atributos ambientais e ecológicos, entre outros, através de estudos específicos. Entretanto, mesmo após analisar sistematicamente as cavidades durante o processo de licenciamento, o empreendedor não obteria a anuência do IBAMA para qualquer atividade que potencialmente impactaria a integridade de cavernas, uma vez que o Decreto vigente previa a preservação integral.

Desta forma, o arcabouço jurídico que, *a priori*, garantia a preservação do patrimônio espeleológico nacional, passou cada vez mais a conflitar com a crescente expansão econômica e social, limitada pela legislação ambiental. Surgiu então, a necessidade de adequar as políticas ambientais vigentes à realidade econômica, promovendo o licenciamento de áreas onde ocorrem cavidades após valoração destas através de estudos técnicos-científicos. Para tanto, em 2008, foi publicado o Decreto 6640, que trouxe uma nova abordagem a artigos do Decreto 9956/90, possibilitando a supressão parcial ou total de cavernas de acordo com o seu grau de relevância, avaliados através de estudos específicos. Um ano depois, no intuito de estabelecer os critérios a serem considerados para a definição do grau de relevância das cavidades, é publicada uma Instrução Normativa (IN 02/2009). E, em 2012, publica-se a Instrução Normativa nº 30, que define os procedimentos para a compensação espeleológica. Esta avaliação de cavidades naturais subterrâneas por estudos específicos, prevista no Decreto 6640/08, é denominada Análise de Relevância, que pode ser definida como um diagnóstico comparativo de atributos multidisciplinares (p. ex. biológicos, geológicos, cênicos) entre cavernas, em escala local e regional. Nesta análise, cada caverna é classificada de acordo com grau de relevância específico: máxima, alta,

média e baixa. No Decreto 6640/08 são informados os critérios para classificação em relevância máxima. Para os demais, a metodologia é detalhada na Instrução Normativa MMA nº 02/2009. O Decreto prevê que cavidades consideradas de Relevância Máxima devem ser preservadas integralmente, garantindo a conservação permanente de seu interior e de sua área de influência. Cavernas nos demais níveis de relevância podem ser impactadas ou suprimidas, sendo que os critérios para a compensação espeleológica para cada condição são informados na Instrução Normativa nº 30.

Apesar da tentativa do Decreto 6640/08 de conciliar os interesses econômicos às questões ambientais, desde sua publicação este têm sido alvo de críticas. Entre os argumentos estão a fragilidade dos critérios propostos para determinação do grau de relevância das cavidades, a possibilidade de supressão parcial ou total de cavidades (Trajano & Bichuette 2010, Trajano *et al.* 2012) e a preocupação da sociedade civil em relação à manutenção do patrimônio espeleológico brasileiro (Figueiredo *et al.* 2010). Um recente estudo sobre a aplicação de diferentes métodos de coleta para a análise de relevância demonstrou que o grau de relevância de uma determinada cavidade pode alterar consideravelmente conforme o método de coleta escolhido para a amostragem da fauna (Oliveira 2014). Ademais, Oliveira (2014) demonstra que os atributos biológicos previstos na IN/02 (2009) apresentam uma grande quantidade de inconsistências, e em diversos estudos ambientais muitos destes critérios vêm sendo aplicados de maneira errônea.

A insatisfação com a metodologia proposta para valoração das cavidades é evidente, uma vez que a IN/02 (2009) apresenta conceitos subjetivos para os atributos e não define métodos para os cálculos necessários ou as técnicas que devem ser utilizadas para as amostragens. Desta forma, a análise comparativa entre as cavernas em contexto local e regional é fortemente influenciada pelo responsável pelo estudo, dificultando comparações mais amplas e concisas entre diferentes trabalhos em uma mesma escala local ou regional. Além do mais, esta impossibilidade de sobreposição de informações impacta nas políticas de manejo de áreas prioritárias para a conservação. Assim, fica evidente que o método vigente para a definição de relevância das cavidades pode não ser capaz de assegurar a preservação dos ambientes subterrâneos e a fauna peculiar que estes ecossistemas abrigam.

Por fim, apesar do crescente número de publicações sobre a biologia das cavernas em minério de ferro, o conhecimento sobre estes ambientes ainda é incipiente. Desta forma, cada vez mais se faz necessário conhecer e estudar a fauna presente nas cavidades desta litologia para fins de conservação. Além do mais, o aumento de estudos possibilitará o descobrimento de novas espécies exclusivas destas áreas. Futuros trabalhos que abordem demais temas em biologia, como comportamento e evolução, serão de extrema importância para o melhor entendimento da influência destes ambientes sobre as espécies, os processos que possibilitaram a estruturação das comunidades presentes e o padrão de distribuição das espécies troglóbias encontradas nessas cavernas.

Referências Bibliográficas

- Andersen, A.N. 1991. Responses of ground-foraging ant communities to three experimental fire regimes in a savanna forest of tropical Australia. *Biotropica*, 23: 575–585.
- Andrade, R. 2010. Bioespeleologia. In: Golder Associates. 2010. *Estudo de Impacto Ambiental (EIA) – Projeto Ferro Carajás S11D*. Volume I-A. RT-079-515-5020-0029-02-J. 588 p.
- Arima, E.; Barreto, P. & Brito, M. 2005. Pecuária na Amazônia: tendências e implicações para a conservação ambiental. *Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia*. Belém: Imazon. 68 p.
- Auler, A.S. & Piló, L.B. 2005. Introdução às Cavernas de Minério de Ferro e Canga. *O Carste*, 17(3): 70-72.
- Auler, A.; Piló, L.B.; Parker, C.W.; Senko, J.M.; Sasowsky I.D. & Barton, H.A. 2014. Hypogene cave patterns in iron ore caves: convergence of forms or processes? *Karst Waters Institute Special Publication*, 18: 15-19.
- Auler, A.S., Rubioli, E.L & Brandi, R. 2001. *As Grandes Cavernas do Brasil*. 1ª edição. Belo Horizonte: Rona Editora. 230 p.
- Ázara, L.N. & Ferreira, R.L. 2013. The first troglobitic *Cryptops* (*Trigonocryptops*) (Chilopoda: Scolopendromorpha) from South America and the description of a non-troglobitic species from Brazil. *Zootaxa*, 3709: 432-444.
- Bartkowiak, D.; Tschardtke, T. & Weber, F. 1991. Effects of stabilizing selection in the regressive evolution of compound eyes in hypogean carabid beetles. *Mémoires de Biospéologie*, 18: 19–24.
- Barton, H.A. 2006. Introduction to cave microbiology: A review for the non-specialist. *Journal of Cave and Karst Studies*, 68 (2): 43–54.
- Bastos, V.A.A., Ferreira, R.L., Carvalho, D.C., Pugedo, M.L. & Pinto, L.M.A. 2013. The cave environment influencing the lipid profile and hepatic lipogenesis of the fish *Ancistrus cryptophthalmus* Reis, 1987 (Siluriformes: Loricariidae). *International Journal of Speleology*, 41: 15-23.
- Beier, M. 1969. Ein wahrscheinlich troglobionter *Pseudochthonius* (Pseudoscorp.) aus Brasilien. *Revue suisse Zoologie*, 76(1): 1-2.
- Bernardi, L.F.O., Klompen, H. & Ferreira, R.L. 2014. *Neocarus caipora*, a new mite species (Parasitiformes: Opilioacarida: Opilioacaridae) from brazilian Amazon caves. *Acarologia*, 54: 47-56.
- Bernardi, L.F.O., Klompen, H., Zacarias, M.S. & Ferreira, R.L. 2013. A new species of *Neocarus* Chamberlin & Mulaik, 1942 (Opilioacarida, Opilioacaridae) from Brazil, with remarks on its postlarval development. *Zookeys*, 358: 69-89.
- Bertwell, R.L. & Blocker, H.D. 1975. Curculionidae from differently managed tallgrass prairie near Manhattan, Kansas. *J Kans Entomol Soc*, 48: 319-326.
- Bonaldo A. B., Rheims C.A. & Brescovit A.D. 2006. Four new species of *Drymusa* Simon (Araneae, Drymusidae) from Brazilian Oriental Amazonia. *Revista Brasileira de Zoologia*. 23: 455-459.
- BRASIL. 1988. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília: Senado Federal.

- Brescovit, A.D., Ferreira, R.L., Souza-Silva, M. & Rheims, C. 2012. *Brasilomma* gen. nov., a new prodidomid genus from Brazil (Araneae, Prodidomidae). *Zootaxa*, 3572: 23-32.
- Caetano, D.S.; Bená, D.C. & Vanin, S.A. *Copelatus cessaima* sp. nov. (Coleoptera: Dysticidae: Copelatinae): first record of a troglomorphic diving beetle from Brazil. *Zootaxa*, 3710(3): 226-232.
- Campos-Filho, I.S. & Araujo, P.B. 2011 Two new troglobitic species of Scleropactidae (Crustacea: Isopoda: Oniscidea) from Pará, Brazil. *Nauplius*, 19(1): 27-39.
- Coelho, A., Piló, L.B., Auler, A. & Bessi, R. 2010. *Espeleologia da área do projeto Apolo, Quadrilátero Ferrífero, MG*. Carste Consultores Associados. 179 p.
- Corrêa, M.P. 2012. *Aspectos Genéticos e Morfológicos das Cavidades Naturais da Serra da Piedade – Quadrilátero Ferrífero/MG*. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Geociências. 150 p.
- Crawford, C.S. & Harwood, R.F. 1964. Bionomics and control of insects affecting Washington grass seed fields. *Tech Bull Agric Exp Stn Wash State*, 44:1-25.
- DaSilva, M.D., Pinto-da-Rocha, R. & Giribet, G. 2010. *Canga renatae*, a new genus and species of Cyphophthalmi from Brazilian Amazon caves (Opiliones: Neogoveidae). *Zootaxa*, 2508: 45-55.
- Dessen, E.M.B., White, W.B., Silva, M.S., Temperini-Beck, M.T., & Trajano, E. 1980. Levantamento preliminar da fauna de cavernas de algumas regiões do Brasil. *Ciência & Cultura*, 32(6): 714-25.
- Diniz, I.R. 1997. *Variação na abundância de insetos no Cerrado: efeito das mudanças climáticas e do fogo*. Dissertação de Mestrado. Brasília: Universidade de Brasília. 92 p.
- Drummond, G.M., Martins, C.S., Machado, A.B.M., Sebaio, F.A. & Antonini, Y. 2005. *Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação*, 2ª edição. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas. 222 p.
- Evans, E.W. 1984. Fire as a natural disturbance to grasshopper assemblages of tallgrass prairie. *Oikos*, 43: 9-16.
- Ferreira, L.V., Venticinque, E. & Almeida, S. 2005. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. *Estudos Avançados*, 19, 53p.
- Feitosa R. M., Brandão C.R.F. & Diniz J.L.M. 2008. Revisionary studies on the enigmatic Neotropical ant genus *Stegomyrmex* Emery, 1912 (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae), with the description of two new species. *Journal of Hymenoptera Research*, 17: 64-82.
- Ferreira, R.L. 2004. *A medida da complexidade biológica e suas aplicações na Conservação e Manejo de sistemas subterrâneos*. Tese de Doutorado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Biológicas. 161p.
- Ferreira, R.L. 2005. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. *O Carste*, 3(17): 106-115.
- Ferreira, R.L. & Horta, L.C.S. 2001. Impactos sobre comunidades de invertebrados em cavernas brasileiras. *Revista Brasileira de Biologia*, 61: 7-17.

- Ferreira, R.L. & Martins, R.P. 1998. Diversity of Spiders Associated with Bat Guano Piles in Morrinho Cave (Bahia State, Brazil). *Diversity and Distributions*, 4: 235-241.
- Ferreira, R.L. & Martins, R.P. 1999. Guano de morcegos: fonte de vida em cavernas. *Ciência Hoje*, 25 (146): 34-40.
- Ferreira, R.L.; Martins, R.P. & Yanega, D. 2000. Ecology of bat guano arthropod communities in a Brazilian dry cave. *Ecotropica*, 6(2): 105-116.
- Ferreira, R.L. & Martins, R.P. 2001. Cavernas em risco de “extinção”. *Ciência Hoje*, 29: 20-28.
- Ferreira, R.L. & Pompeu, P.S. 1997. Riqueza e diversidade da fauna associada a depósitos de guano na gruta Taboa, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil. *O Carste*, 9(2): 30-33.
- Ferreira, R.L.; Prous, X. & Martins, R.P. 2007. Structure of bat guano communities in a dry Brazilian cave. *Tropical Zoology*, 20: 55-74.
- Ferreira, R.L. & Souza-Silva, M. 2001. Biodiversity under rocks: the role of microhabitat in structuring invertebrate communities in Brazilian outcrops. *Biodiversity and Conservation*, 7(10): 1171-1183.
- Figueiredo, L.A.V., Rasteiro, M.A. & Rodrigues, P.C. 2010. Legislação para a proteção do patrimônio espeleológico brasileiro: mudanças, conflitos e o papel da sociedade civil. *Espeleo-Tema*, 21(1): 49-65.
- Frizzo, T.L.M.; Bonizário, C.; Borges, M.P. & Vasconcelos, H.L. 2011. Revisão Dos Efeitos Do Fogo Sobre a Fauna De Formações Savânicas Do Brasil. *Oecologia Australis* 15: 365-379.
- Gibert, J. & Deharveng, L. 2002. Subterranean ecosystems: a truncated functional biodiversity. *Bioscience*, 51: 473-481.
- Gnaspini, P. & Trajano, E. 1994. Brazilian cave invertebrates, with a checklist of troglomorphic taxa. *Revista Brasileira de Entomologia*, 38(3/4): 549-584.
- Harrison, S.; Ross, S.J. & Lawton, J.H. 1992. Beta diversity on geographic gradients in Britain. *Journal of Animal Ecology*, 61: 151-158.
- Herrera, F.F. 1995. Las comunidades de artropodos del guano de guacharos en la Cueva del Guacharo, Venezuela. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*, 29: 39-46.
- Hoch, H. & Ferreira, R.L. 2012. *Ferricixius davidi* gen. n., sp. n. the first cavernicolous planthopper from Brazil (Hemiptera: Fulgoromorpha: Cixiidae). *Deutsche Entomologische Zeitschrift*, 59: 201-206.
- Hoenen, S. 2005. Circadian patterns in the activity of the Brazilian cave cricket *Strinatia brevipennis* (Ensifera: Phalangopsidae). *European Journal of Entomology*, 102: 663-668.
- Hoenen, S. & Gnaspini, P. 1999. Activity rhythms and behavioral characterization of two epigeal and one cavernicolous harvestmen (Arachnida, Opiliones, Gonyleptidae). *Journal of Arachnology*, 27: 159-164.
- IBGE. 2013. Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data de Referência em 1º de julho de 2013 *Estimativa Populacional para 2013*. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2013/estimativa_2013_dou.pdf Acessado em 25 set. 2014.

- Iniesta, L.F.M. & Ferreira, R.L. 2013. Two new species of *Pseudonannolene* Silvestri, 1895 from Brazilian iron ore caves (Spirostreptida: Pseudonannolenidae). *Zootaxa*, 3716: 75-80.
- Iniesta, L.F.M., Ferreira, R.L. & Wesener, T. 2012. The first troglobitic *Glomeridesmus* from Brazil, and a template for a modern taxonomic description of Glomeridesmida (Diplopoda). *Zootaxa*, 3550: 26-42.
- Instrução Normativa Nº 2. 2009. *Diário Oficial da União*, Seção 1 (160), 68-71. Disponível em: <http://www.sbe.com.br/leis/inmma%20%2020-08-2009.pdf> Acessado em 25 set. 2014.
- Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. 2008. The contribution of ironstone outcrops to plant diversity in the Iron Quadrangle, a threatened Brazilian landscape. *AMBIO*, 37(4): 324-326.
- Kauffman, J.B., Cummings, D.L. & Ward, D.E. 1994. Relationship of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. *Journal of Ecology*, 8: 519-531.
- Koleff, P.; Gaston, K.J. & Lennon, J.J. 2003. Measuring beta diversity for presence-absence data. *Journal of Animal Ecology*, 72:367-382.
- Lienhard, C. & Ferreira, R.L. 2013. Three new species of *Psyllipsocus* (Psocodea: Psocoptera: Psyllipsocidae) from Brazilian caves with description of a novel structure presumably representing a male accessory genital organ. *Revue Suisse de Zoologie*, 120: 421-443.
- Lopez, H. & Oromí, P. 2010. A pitfall trap for sampling the mesovoid shallow substratum (MSS) fauna. *Speleobiology Notes*, 2: 7-11.
- Marent, B.R.; Lamounier, W.L. & Gontijo, B.M. 2011. Conflitos ambientais na Serra do Gandarela, Quadrilátero Ferrífero – MG: mineração x preservação. *Geografias*, 7, 99-113.
- Mascarenhas, J. 2013. Bioespeleologia. In: Carste. 2013. *Diagnóstico espeleológico e análise de relevância das cavidades do projeto Várzea do Lopes, Itabirito, MG*. Belo Horizonte. 235 p.
- Mazza, G., Reboleira, A.S.P.S., Gonçalves, F., Aquiloni, L., Inghilesi, A.F., Spigoli, D., Stoch, F., Taiti, S., Gherardi, F. & Tricarico, E. 2014. A new threat to groundwater ecosystems: first occurrences of the invasive crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in European caves. *Journal of Cave and Karst Studies*, 76(1): 62-65.
- Melo, A.G., Souza, P.N.C., Maia, N.C., Thomas, A.B., Silva, L.B.R., Batista, L.R., Ferreira, R.L. & Cardoso, P.G. 2013. Screening and identification of tannase-producing fungi isolated from Brazilian caves. *African Journal of Microbiology Research*, 7: 483-487.
- Meyer-Rochow, V.B. 2003. Adaptation: Eyes. In: Gunn, J. *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. Routledge. p. 4-5.
- Meyer-Rochow, V.B. & Liddle, A.R. 1988. Structure and function of the eyes of two species of opilionid from New Zealand glow-worm caves (*Megalopsalis tumida*: Palpatores, and *Hendea myersi cavernicola*: Laniatores). *Proceedings of the Royal Society of London B*, 233: 293-319.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2011. Relatório sobre o monitoramento da agropecuária em 33 municípios no sudeste do Pará em 2011. 55p. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/latis/arquivos/RelatorioMonitoramentoAgropecuariaPara2011.pdf> Acessado em 25 set. 2014.

- Miranda, H.S.; Bustamante, M.M.C. & Miranda, A.C. 2002. The fire factor. Pp. 51-68. In: Oliveira, P.S. & Marquis, R.J. *The Cerrados of Brazil*. Columbia University Press. 398 p.
- Mistry, J. 1998. Fire in the Cerrado (savannas) of Brazil: an ecological review. *Progress in Physical Geography*, 22: 425-448.
- Moreira, A.G. 2000. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. *Journal of Biogeography*, 27, 1021-1029.
- Moreira, J. R.A. & Paiva, R.S. 1988. *Levantamento Bioespeleológico Preliminar da Serra dos Carajás-PA-Brasil*. In: 1º Congresso de Espeleologia da América Latina e do Caribe. Belo Horizonte. p. 142-150.
- Moulds, T.A. 2006. *The seasonality, diversity and ecology of cavernicolous guano dependent arthropod ecosystems in southern Australia*. Tese de Doutorado. Adelaide: The University of Adelaide.
- Nagel, H.G. 1973. Effect of spring prairie burning on herbivorous and non-herbivorous arthropod populations. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 46: 485-496.
- Oliveira, M.B. 2008. Por entre as Serras do Rola-Moça: conflitos e preservação ambiental. *Sinapse Ambiental*, 87-94.
- Oliveira, M.P.A. 2014. *Os métodos de coleta em cavernas são eficientes para a amostragem da fauna subterrânea?* Dissertação de Mestrado. Lavras: Universidade Federal de Lavras. 85 p.
- Oliveira, M.P.A. & Ferreira, R.L. 2014. Aspects of the behavior and activity rhythms of *Rowlandius potiguar* (Schizomida: Hubbardiidae). *Plos One*, 9(3): 1-9.
- Oliveira, M.P.A., Mescolotti, M.B. & Silva, T.G. 2013. *Diagnóstico Bioespeleológico. Projeto Brumafer – Diagnóstico Geoespeleológico, Bioespeleológico e Análise de Relevância*. Belo Horizonte. 312 p.
- Parker, C.W.; Wolf, J.A.; Auler, A.S.; Barton, H.A. & Senko, J.M. 2013. Microbial reducibility of Fe (III) phases associated with the Iron Quadrangle, Minas Gerais, Brazil. *Minerals*, 3: 395-411.
- Parr, C.L.; Robertson, H.G.; Biggs, H.C. & Chown, S.L. 2004. Response of African savanna ants to long-term fire regimes. *Journal of Applied Ecology*, 41: 630-642.
- Pedroso, D.R. & Baptista, R.L.C. 2014. A new troglomorphic species of *Harmonicon* (Araneae, Mygalomorphae, Dipluridae) from Pará, Brazil, with notes on the genus. *ZooKeys*, 389: 77-88.
- Pellegrini, T.G. & Ferreira, R.L. 2011. *Coarazuphium tapiaguassu* (Coleoptera: Carabidae: Zuphiimi), a new Brazilian troglobitic beetle, with ultrastructural analysis and ecological considerations. *Zootaxa*, 3116: 47-58.
- Pellegrini, T.G. & Ferreira, R.L. 2012. Management in a neotropical show cave: planning for invertebrates conservation. *International Journal of Speleology*, 41: 359-366.
- Picker, M.D. & Samways, M.J. 1996. Faunal diversity and endemnicity of the Cape Peninsula, South Africa – a first assessment. *Biodiversity and Conservation*, 5: 591-606.

- Piló L.B. & Auler A.S. 2005. Cavernas em minério de ferro e canga de capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, MG. *O Carste*, 3(17): 92-105.
- Pinheiro, R.V.L. & Maurity, C.W. 1988. As cavernas em rochas intempéricas da Serra dos Carajás (PA), Brasil. In: 1º Congresso de Espeleologia da América Latina e do Caribe. Belo Horizonte. p. 179-186.
- Pinto-da-Rocha, R. 1995. Sinopse da Fauna Cavernícola do Brasil (1907–1994). *Papéis Avulsos de Zoologia*, 39(6): 61-173.
- Pinto-da-Rocha, R. & Bonaldo, A.B. 2007. A new species of *Cryptocellus* (Arachnida, Ricinulei) from Oriental Amazonia. *Zootaxa*, 1386: 47-51.
- Polak, S. 2012. Vertical migration of the subterranean beetles as a respond to annual temperature fluctuations. In: Kováč, L.; Uhrin, M.; Mock, A. & Luptáčík, P. *Abstract book of the 21th International Conference on Subterranean Biology*. Košice. p. 92.
- Prous, X. 2013. Diagnóstico Bioespeleológico. In: *Projeto Ferro Puro Ltda. DNPM 9.608/1942. 2013. Estudo Espeleológico, Paleontológico, Arqueológico e Análise de Relevância de 17 Cavernas inseridas na ADA e AID do Empreendimento*. 588 p.
- Prous, X., Ferreira, R.L. & Martins, R.P. 2004. Ecotone delimitation: epigeal hypogean transition in cave ecosystems. *Austral Ecology*, 29: 374-382.
- Ratton, P., Mahnert, V. & Ferreira, R.L. 2012. A new cave-dwelling species of *Spelaeobochica* (Pseudoscorpiones: Bochicidae) from Brazil. *The Journal of Arachnology*, 40: 274-280.
- Salgado-Lambouriau, M.L. & Ferraz-Vicentini, K.R. 1994. Fire in the Cerrado 32,000 years ago. *Curr Res Pleistocene*, 11: 85–87.
- Sanaïotti, T.M. & Magnusson, W.E. 1995. Effects of annual fires on the production of fleshy fruits eaten by birds in a Brazilian amazonian savanna. *Journal of Tropical Ecology*, 11: 53–65.
- Santos, A.J., Buzatto, B. & Ferreira, R.L. 2013. Two New Cave-dwelling species of the Short-tailed Whipscorpion Genus *Rowlandius* (Arachnida: Schizomida: Hubbardiidae) from Northeastern Brazil, with Comments on Male Dimorphism. *Plos One*, 8: 1-12.
- Schneider, K.; Christman, M.C. & Fagan, W.F. 2011. The influence of resource subsidies on cave invertebrates: results from an ecosystem-level manipulation experiment. *Ecology*, 92(3):765–776.
- Sharratt, N., Picker, M.D., Samways, M.J. 2000. The invertebrate fauna of the sandstone caves of the Cape Peninsula (South Africa): patterns of endemism and conservation priorities. *Biodiversity and Conservation*, 9: 107–143.
- Shuster, D.L.; Farley, K.A.; Vasconcelos, P.M.; Balco, G.; Monteiro, H.S., Waltenberg, K. & Stone, J.O. 2012. Cosmogenic ³He in hematite and goethite from Brazilian “canga” duricrust demonstrates the extreme stability of these surfaces. *Earth Planetary Science Letters*, 329(330): 41-50.
- Simmons, G.C. 1963. Canga caves in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *The National Speleological Society Bulletin*, 25: 66-72.

- Sket, B. 2008. Can we agree on an ecological classification of subterranean animals? *Journal of Natural History*, 42(21): 1549-1563.
- Souza, M.F.V.R. & Ferreira, R.L. 2011. A new species of *Eukoenenia* (Palpigradi: Eukoeneniidae) from Brazilian iron caves. *Zootaxa*, 2886: 31-38.
- Souza, M.F.V.R. & Ferreira, R.L. 2012. *Eukoenenia virgemdalapa* (Palpigradi: Eukoeneniidae): a new troglobitic palpigrade from Brazil. *Zootaxa*, 3295: 59-64.
- Souza, M.F.V.R. & Ferreira, R.L. 2013. Two new species of the enigmatic *Leptokoenenia* (Eukoeneniidae: Palpigradi) from Brazil: first record of the genus outside intertidal environments. *Plos One*, 8: 1-18.
- Souza-Silva, M. & Ferreira, R.L. 2014. *Loxosceles* spiders (Araneae: Sicariidae) preying on invertebrates in Brazilian caves. *Speleobiology Notes*, 6: 27-32.
- Souza-Silva, M.; Júnior, A.S. & Ferreira, R.L. 2013. Food availability in a quartzitic cave in a Brazilian mountain Atlantic forest. *Journal of Caves and Karst Studies*. *Journal of Caves and Karst Studies*, 75: 177-188.
- Souza-Silva, M., Martins, R.P. & Ferreira, R.L. 2011. Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. *Biodiversity and Conservation*, 20: 1713-1729.
- Taylor, E.L., Stoianoff, M.A.R. & Ferreira, R.L. 2013. Mycological study for a management plan of a Neotropical show cave (Brazil): subsidies and perspectives. *International Journal of Speleology*, 42: 267-277.
- Taylor, E.L.S.; Ferreira, R.L.; Cardoso, P.G. & Stoianoff, M.A.R. 2014. Cave entrance dependent spore dispersion of filamentous fungi isolated from various sediments of iron ore cave in Brazil: a colloquy on human threats while caving. *Ambient Science*, 1(1): 16-28.
- Trajano, E. 1987. Fauna cavernícola brasileira: composição e caracterização preliminar. *Revista Brasileira de Zoologia*, 3(8): 533-561.
- Trajano, E. 2000. Cave Faunas in the Atlantic Tropical Rain Forest: Composition, Ecology, and Conservation. *Biotropica*, 32 (4): 882-893.
- Trajano, E. & Bichuette, M.E. 2010. Relevância de cavernas: por que estudos ambientais espeleobiológicos não funcionam. *Espeleo-Tema*, 21(1): 105-112.
- Trajano, E., Bichuette, M.E. & Batalha, M.A. 2012. Estudos ambientais em cavernas: os problemas da coleta, da identificação, da inclusão e dos índices. *Espeleo-Tema*, 23(1): 13-22.
- Trajano, E. & Gnaspini, P. 1991. Notes on the food webs in caves from southeastern Brazil. *Serie documents - Laboratoire souterrain du C.N.R.S.*, 18: 75-79.
- Uehara-Prado, M.; Bello, A.D.M.; Fernandes, J.D.O.; Santos, A.J.; Silva, I.A. & Cianciaruso, M.V. 2010. Abundance of epigeic arthropods in a Brazilian savanna under different fire frequencies. *Zoologia*, 27, 718-724.

Vale. 2012. *Projeto Ferro Carajás S11: Um novo impulso ao desenvolvimento sustentável do Brasil*. Disponível em: http://saladeimprensa.vale.com/_arquivos/Final%20-%20Book%20S11D%20-%20PORT.pdf. Acessado em 25 set. 2014.

Veado, M.A.R.V.; Arantes, I.A.; Oliveira, A.H.; Almeida, M.R.M.G.; Miguel, R.A.; Severo, M.I. & Cabaleiro, H.L. 2006. Metal pollution in the environment of Minas Gerais State, Brazil. *Environ. Monit. Assess*, 117: 157-172.

Veríssimo, A.; Barreto, P.; Mattos, M.; Tarifa, R. & Uhl, C. 1996. In: Almeida, O. *Impactos da atividade madeireira e perspectivas para o manejo sustentável da floresta numa velha fronteira da Amazônia: o caso Paragominas*. Belém: Imazon. p. 9-37.

Whittaker, R.H. 1960. Vegetation of the Siskiyou mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs*, 30: 279-338.

Yoshizawa, K., Ferreira, R.L., Kamimura, Y. & Lienhard, C. 2014. Female penis, male vagina, and their correlated evolution in a cave insect. *Current Biology*, 24: 1-5.

Zeppelini-Filho, D.; Da Silva, D.D. & Palacios-Vargas, J.G. 2014. A new species of *Troglobius* (Collembola, Paronellidae, Cyphoderinae) from a Brazilian iron cave. *Subterranean Biology*, 14: 1-13.

MORCEGOS ASSOCIADOS A ECOSSISTEMAS FERRUGINOSOS DE MINAS GERAIS

Augusto Milagres e Gomes, Leonardo Henrique Dias da Silva & Valéria da Cunha Tavares

Introdução

A interação entre os organismos e seu ambiente é um tema central dentro da perspectiva ecológica. Sabe-se que diferenciações nas condições de clima, solo, relevo e as próprias interações com outros seres vivos influenciam o curso evolutivo das espécies, o que é evidenciado nas suas adaptações morfo-fisiológicas e em sua distribuição pelo globo (Ricklefs, 2010). Os morcegos (classe Mammalia: ordem Chiroptera) tem sido extensivamente utilizados como modelos para compreensão de fenômenos biológicos clássicos, como os processos evolutivos, padrões biogeográficos e adaptativos (Altringham, 2011a). Em especial, sua distribuição cosmopolita reflete a grande diversificação morfológica, fisiológica, comportamental e alimentar ocorrida a partir da origem da ordem, possivelmente anterior ao Eoceno, há cerca de 50 milhões de anos (Simmons *et al.*, 2008). Essa longa história de convivência com os recursos naturais da Terra levou ao surgimento de especializações alimentares e uma relação de interdependência dos morcegos com o ambiente.

Morcegos apresentam a maior diversidade alimentar dentre os mamíferos, com grupos especializados no consumo de insetos, enquanto que outros se alimentam de recursos vegetais como néctar e frutos, ou ainda pequenos vertebrados, como peixes, anfíbios e até mesmo pequenos mamíferos, incluindo outros morcegos (Gardner, 1977). Muitas espécies têm hábitos generalistas, consumindo os recursos de acordo com sua disponibilidade e abundância no ambiente (Altringham, 2011b). Esta variedade de hábitos alimentares faz com que os quirópteros assumam papéis importantes nos fenômenos de controle biológico de populações animais, de dispersão de sementes e da polinização (Kunz, 2011). É sabido, por exemplo, que morcegos são dispersores de plantas pioneiras, aquelas que são as primeiras a colonizar ambientes em formação e/ou recuperação, como *Piper*, *Solanum*, *Cecropia* e *Vismia* (Muscarella & Fleming, 2007).

Nas regiões tropicais, os morcegos ocupam uma vasta gama de ambientes, dentre eles os ecossistemas ferruginosos. As características peculiares destes locais levaram ao estabelecimento de uma flora rica e, em grande parte, endêmica, especialmente adaptada à sobrevivência em solos rasos e com alto teor de ferro (Jacobi *et al.*, 2007; Viana & Lombardi, 2007). Nos afloramentos de canga e minério de ferro as fitofisionomias sofrem variações abruptas num pequeno espaço,

criando um mosaico de ecossistemas distintos, mas geograficamente muito próximos (Carmo & Jacobi, 2013; Jacobi & Carmo, 2008; Jacobi *et al.*, 2007). Essa heterogeneidade ambiental é refletida em oferta de alimento e abrigo para os morcegos, sendo as cavernas ali presentes de grande importância para estes animais (Gomes, 2014; Moras *et al.*, 2014; Gomes *et al.*, 2013a; Tavares *et al.*, 2012).

Destacam-se entre estes ambientes os campos rupestres ferruginosos propriamente ditos e as cavidades associadas, formadas por processos de dissolução e erosão, geralmente no contato entre a canga e o minério de ferro, ou entre a canga e o itabirito (Piló & Auler, 2005; Simmons, 1963). Entre os afloramentos de canga, é comum a presença de grandes extensões de campos limpos, manchas de Cerrado *stricto sensu* e fisionomias de transição entre Cerrado e Mata Atlântica, com formações florestais características: os capões de altitude e matas semi-decíduais (Jacobi & Carmo, 2008), sendo estas últimas frequentemente associadas a corpos d'água. As formações florestais são fontes de recursos para os morcegos, num ambiente predominantemente campestre onde o alimento, para alguns, tende a ser mais escasso (Marinho-Filho, 1996). Ali os animais podem encontrar água, insetos, frutos, flores e outros itens alimentares importantes na sua dieta. Basicamente, as matas representam ilhas de vegetação métrica em meio à paisagem xérica das cangas (Jacobi *et al.*, 2007; Marinho-Filho, 1996). As cavernas e pequenas locas, falhas e fissuras características das cangas, bem como troncos ocos e folhagem densa das matas supracitadas tem função importante como abrigo, oferecendo proteção contra as adversidades climáticas e predadores (Altringham, 2011b).

Apesar da relevância econômica e ambiental dos ecossistemas ferruginosos, pouco se sabe sobre a fauna associada e muito menos sobre os papéis ecológicos desempenhados pelos morcegos nestes locais, e uma parte considerável destes ambientes corre risco de desaparecer pelas pressões antrópicas previstas a médio e longo prazo (Fernandes *et al.*, 2014; Tavares *et al.* 2012; Carmo, 2010; Jacobi *et al.*, 2007). Os poucos estudos realizados na área indicam uma diversidade considerável de espécies e guildas tróficas, bem como a utilização potencial das cavernas ferruginosas como abrigos pelos morcegos (Gomes, 2014; Moras *et al.*, 2014; Gomes *et al.*, 2013a; Gomes *et al.*, 2013b; Araujo *et al.*, 2013; Talamoni *et al.*, 2013; Tavares *et al.*, 2010; Ferreira, 2005; Tavares & Soares *In review*). Contudo, a maior parte da informação disponível até então é resultado de consultorias para processos de licenciamento ambiental, que geralmente não são feitas através de um levantamento faunístico sistemático, mas sim de algumas poucas amostragens em período limitado de tempo e sem ter como foco claro os ecossistemas ferruginosos, salvo algumas exceções (e.g. os estudos de Tavares *et al.*, 2012 nos sistemas ferruginosos de Carajás). Esta fragmentação do conhecimento sobre a fauna local é um dos grandes empecilhos para a gestão adequada das Unidades de Conservação e a elaboração de planos de manejo efetivos.

A proposta deste capítulo é preencher esta lacuna, trazendo uma síntese sobre o conhecimento atual acerca da quiropterofauna nos ecossistemas ferruginosos de Minas Gerais, representados basicamente pelo Quadrilátero Ferrífero e por alguns pontos isolados na cadeia do Espinhaço, a partir de trabalhos recentes realizados nessas áreas. Abordaremos aqui tanto a diversidade, a importância dos morcegos para a saúde desses ecossistemas e os principais desafios e perspectivas futuras na conservação e estudo do grupo.

Metodologia

A lista de morcegos em áreas ferruginosas de Minas Gerais que apresentamos inclui dados inéditos e compilações a partir de coleções zoológicas (Coleção de Mamíferos da Universidade Federal de Minas Gerais – CMUFMG – e da Universidade Federal de Lavras - CMUFLA) e da literatura disponível (Moras *et al.*, 2014; Talamoni *et al.*, 2013; Tavares *et al.*, 2010; Tavares & Martins, in review). Os dados originais constam de registros feitos nos afloramentos ferruginosos e no seu entorno, englobando ambientes e fitofisionomias distintas, em altitudes variando entre 700 m (vales e baixas vertentes) e 1550 m (topos das serras). As coletas foram realizadas com auxílio de redes de neblina (Figuras 1 e 2) e/ou puçá, uma pequena rede manual utilizada para a captura em locais confinados, como as cavernas (Figura 3).

Os ambientes de amostragem foram classificados em: cavernas ferruginosas, campos rupestres ferruginosos (cangas), Cerrado (formações savânicas não metalófilas) e matas semi-decíduais (matas ciliares, matas de encostas e capões de altitude), e estão exemplificados na Figura 4. Esta classificação foi adaptada de Carmo (2010) e Jacobi *et al.* (2007).



Figura 1 - Redes de neblina estendidas sobre os campos ferruginosos. Foto: Augusto Gomes.



Figura 2 - *Desmodus rotundus* capturado na rede de neblina. Foto: Augusto Gomes.



Figura 3 - Captura em caverna com auxílio de puçá e rede de neblina. Foto: Augusto Gomes

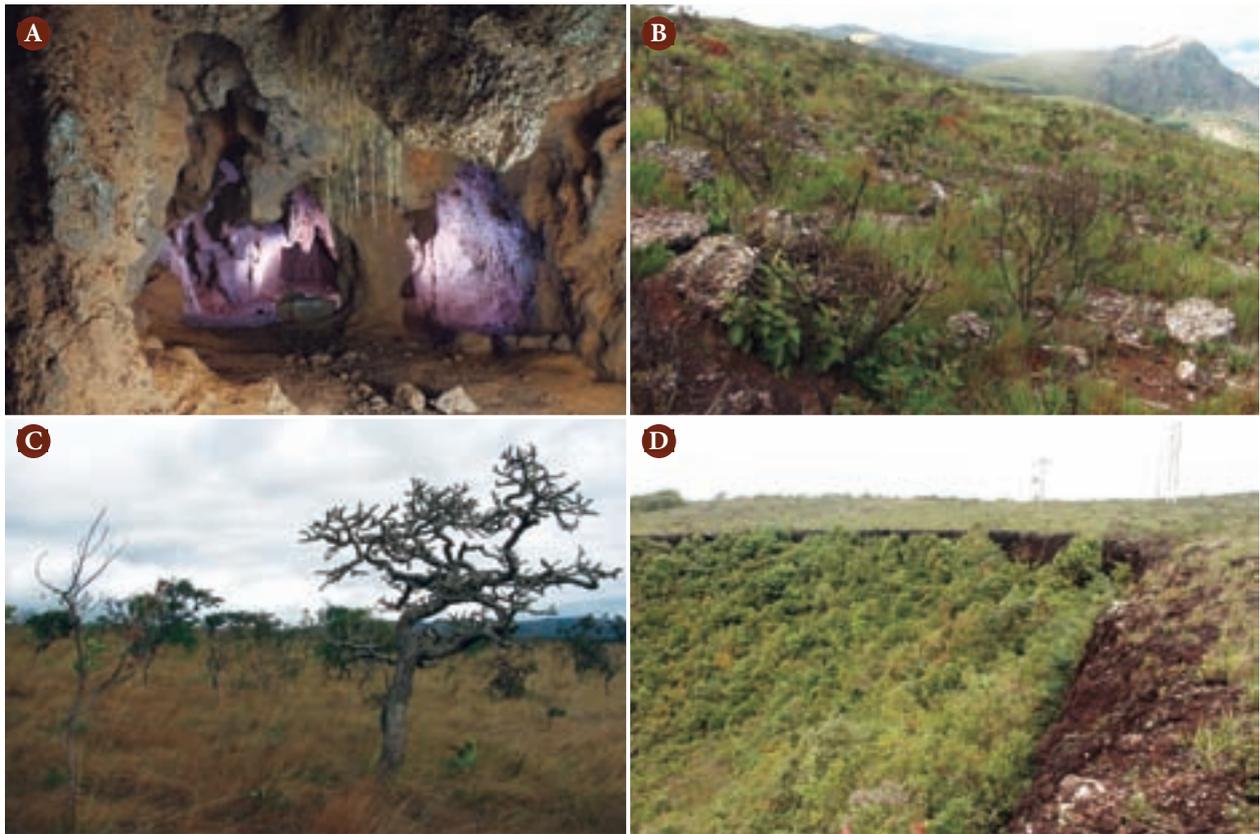


Figura 4 - A) caverna ferruginosa; B) afloramento de canga, com vegetação típica; C) formação de Cerrado tipo campo sujo; D) Transição abrupta entre a vegetação aberta de canga e a mata semi-decidual logo abaixo. Fotos: Augusto Gomes.

Diversidade e relevância ecológica

Atualmente são conhecidas 178 espécies de morcegos para o território brasileiro, sendo 10 delas endêmicas, ou seja, exclusivamente ocorrentes em território nacional (Nogueira *et al.*, 2014). Destas, 83 ocorrem no estado de Minas Gerais (77 espécies reportadas por Tavares *et al.*, 2010, acrescidas dos registros de Falcão *et al.*, 2014; Moras *et al.*, 2014; Carvalho *et al.*, 2013; Gregorin & Loureiro, 2011 e Gregorin *et al.*, 2011), o que corresponde a uma parcela significativa do total (47%). Isso provavelmente se deve à confluência de três biomas bem distintos dentro do estado: a Mata Atlântica, o Cerrado e a Caatinga, cada um com suas características ambientais específicas, propiciando condições para a sobrevivência de uma grande diversidade de espécies (Tavares *et al.*, 2010). É neste ambiente transicional, sobretudo de Cerrado e Mata Atlântica, que se inserem as litologias ferruginosas de MG, e onde foram realizados inventários que deram origem à lista apresentada neste estudo.

A partir dos registros feitos nos afloramentos ferruginosos e no seu entorno foram encontradas 36 espécies pertencentes a quatro famílias, conforme apresentado na Tabela 1. Esta diversidade representa cerca de 20% das espécies conhecidas para o Brasil, 43% das espécies registradas para Minas Gerais e mais de 60% das espécies registradas até o presente no carste

mineiro (Tavares & Martins, in review). O maior número de espécies registradas pertence à família Phyllostomidae (24 espécies), seguido de Vespertilionidae (nove espécies), Molossidae (duas espécies) e Emballonuridae (uma espécie). A maioria das espécies (25) é comum a quatro ou mais biomas brasileiros, principalmente o Cerrado, Mata Atlântica, Amazônia e Caatinga. Quatro espécies são restritas a três biomas, e outras sete a apenas dois biomas (Paglia *et al.*, 2012). Algumas destas espécies estão identificadas nas Figuras 5 e 6, e no Anexo 1, ao final deste capítulo.

Em função das lacunas de amostragem e desconhecimento a respeito da área de vida, abundância e hábitat da maioria das espécies de morcegos brasileiros, inferências sobre seu grau de ameaça ainda são incipientes e nem sempre seguras (Bernard *et al.*, 2012; Bernard *et al.*, 2011). Dessa forma, é possível que espécies dadas como ameaçadas em algum grau não o sejam na realidade, assim como outras que são realmente ameaçadas não tenham sido categorizadas como tal. Isso só torna mais urgente a necessidade de levantamentos faunísticos em maior escala pelo território nacional, sobretudo em locais com carência de registros (Bernard *et al.*, 2011). Considerando-se essas limitações, apenas cinco espécies de morcegos no Brasil são categorizadas como ameaçadas na categoria “Vulnerável” pelo Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção, de 2008, sendo duas delas presentes nos ecossistemas ferruginosos em questão: *Lonchophylla bokermanni* e *Myotis ruber* (ICMBio, 2008). Entretanto, em nova atualização de 2014, sete espécies compõe a lista de morcegos ameaçados (Brasil, 2014), nenhuma delas presente na lista aqui apresentada.

Tavares e colaboradores (2012), inventariando a quiropterofauna da Floresta Nacional de Carajás, PA, um outro geossistema ferruginoso de grande importância econômica e biológica para o país, registraram oito famílias, 46 gêneros e 75 espécies, distribuídas em oito guildas tróficas. Provavelmente esta discrepância se deve tanto ao maior esforço de captura empregado neste estudo, quanto à inserção dessa área ferruginosa no bioma Amazônico, onde a diversidade biológica é naturalmente maior para grande parte dos grupos de vertebrados terrestres até agora estudados, em função dos vários processos geológicos e biogeográficos que caracterizaram o passado da região (Leite & Rogers, 2013). Os autores ressaltam que a canga foi, a princípio, o ambiente com maior riqueza de espécies de morcegos dentro da sua amostragem, seguidos pelos campos brejosos e capões de mata (Tavares *et al.*, 2012).

Um total de 22 espécies é compartilhado entre a FLONA de Carajás e os ecossistemas ferruginosos de Minas Gerais. Tavares *et al.* (2012) também encontraram uma estrutura de guildas semelhante ao presente estudo, com maior número de espécies de morcegos frugívoros, seguidos pelos insetívoros aéreos (aqueles que capturam suas presas em vôo, geralmente em espaços mais abertos), insetívoros catadores (capturam presas em meio à vegetação densa), nectarívoros, hematófagos, onívoros/insetívoros catadores, carnívoros/insetívoros catadores, e por fim os carnívoros. Apesar da evidente diferença no número de espécies, a semelhança na estrutura de guildas pode estar relacionada a similaridades entre os ecossistemas ferruginosos de Minas Gerais e da Serra dos Carajás, no que concerne à presença, tipo e abundância de recursos e abrigos, às condições abióticas como clima e relevo, e ao grau de preservação ambiental verificado nos dois locais.



Figura 5 – A) *Histiotus velatus*, morcego insetívoro; B) *Anoura geoffroyi*, morcego nectarívoro; C) *Desmodus rotundus*, morcego hematófago; D) *Carollia perspicillata* em caverna ferruginosa; E) *Artibeus lituratus* com marcação de colar. Fotos: Augusto Gomes.



Figura 6 – A) Pequena colônia de *Chrotopterus auritus*, morcego carnívoro; B) *Eptesicus furinalis*, morcego insetívoro; C) *Myotis* sp. com marcação de antebraço; D) *Pygoderma bilabiatum*, morcego frugívoro; E) *Platyrrhinus lineatus*, morcego frugívoro. Fotos: Augusto Gomes.

Entre as 36 espécies capturadas nos ecossistemas ferruginosos de Minas Gerais, 30 foram presentes na Mata, 18 na canga, 13 no Cerrado e 11 na caverna, sendo 13 espécies exclusivas da mata, três da caverna e uma da canga, como mostra o diagrama da Figura 7. Nenhuma espécie foi registrada exclusivamente no Cerrado, e quatro espécies foram comuns a todos os ambientes amostrados. Sabe-se que habitats estruturalmente mais complexos, como as áreas florestadas maduras, proporcionam uma maior variedade de recursos, abrigos e micro-habitats para os morcegos, o que pode explicar o fato de que, nos inventários faunísticos, as matas são comumente os ambientes que abrigam maior riqueza (Falcão *et al.*, 2014; Avila-Cabadilla *et al.*, 2009; Marinho-Filho, 1996).

As cangas são ambientes marcados por adversidades ambientais por estarem, em sua maioria, situadas em alta vertente (topos de morros), onde as condições climáticas tendem a ser mais rigorosas, sobretudo no período noturno, com maior precipitação, nebulosidade, ventos fortes e temperaturas consideravelmente mais baixas. Considerando-se isto, é notório que 18

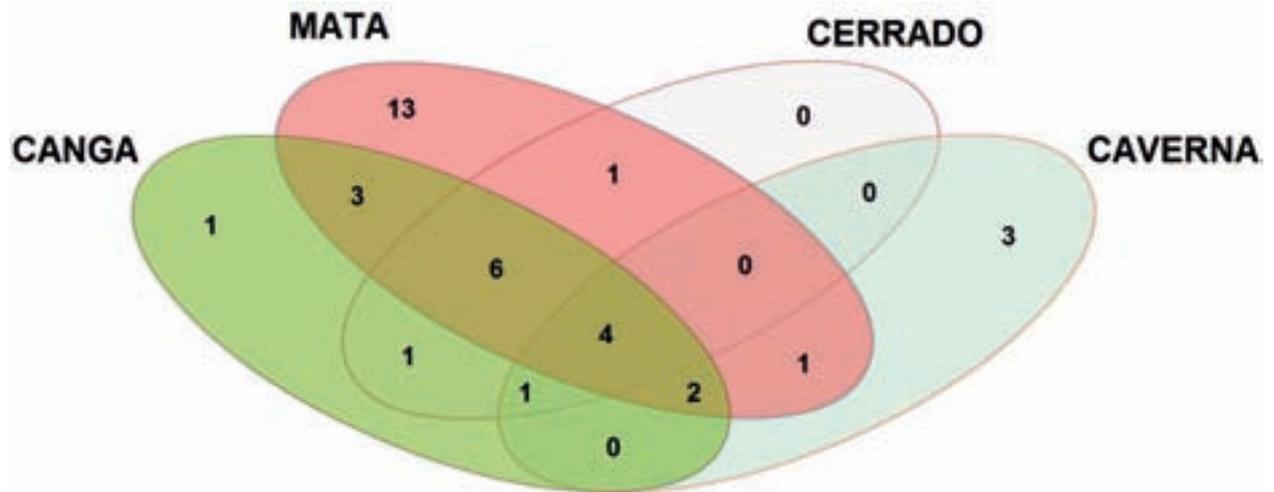


Figura 7 – Diagrama de Venn mostrando a partição de espécies entre os quatro ambientes amostrados. A figura foi produzida através do software Creately (Cinergix Pty Ltd., 2011).

espécies tenham sido catalogadas para este tipo peculiar de ambiente. Mais estudos são necessários para determinar a real disponibilidade de recursos para os morcegos nestes locais, porém sabe-se da ocorrência de uma enorme quantidade de abrigos naturais (CECAV, 2015; SBE, 2015), o que pode ser um fator importante para as populações de quirópteros ali viventes. Estudos preliminares indicam que, nos ecossistemas ferruginosos, morcegos tem preferência por ocupar cavernas com maiores dimensões, maior estabilidade térmica e situadas em menores altitudes (Gomes *et al.*, 2013a; Silva, 2013). A ausência de um maior número de espécies nas cavernas pode estar relacionada à exclusão competitiva, a condições microclimáticas e físicas das cavidades, ou simplesmente à biologia comportamental de cada espécie (Avila-Flores & Medellín, 2004). Há espécies com grande afinidade por cavernas, como muitos membros da subfamília Phyllostominae, enquanto outras são raramente encontradas ali, como os stenodermatíneos (Trajano, 1995; Trajano, 1985). Por outro lado, Silva (2013), Trajano (1985) e Bredt (1999) acreditam que o empobrecimento da comunidade da quiropterofauna cavernícola em geral pode estar correlacionado à degradação ambiental.

Pelo menos seis guildas tróficas (*sensu* Kalko *et al.*, 1996) foram observadas a partir dos levantamentos apresentados (Figura 8), com um maior número de espécies de morcegos insetívoros (12 espécies de insetívoros aéreos e cinco de insetívoros catadores), seguidos pelos frugívoros (12 espécies), nectarívoros (quatro espécies), hematófagos (duas espécies) e carnívoros (uma única espécie). A Figura 9 é um primeiro esboço sobre riqueza das guildas nos ambientes amostrados, provavelmente um reflexo da distribuição de recursos pelos ecossistemas ferruginosos. Apesar de sua utilidade prática nos estudos sobre hábitos alimentares dos morcegos, a classificação tradicional em guildas tróficas nem sempre corresponde à realidade, podendo os animais apresentar dietas bem mais flexíveis em função da abundância local de recursos, e até mesmo uma tendência à onivoria (Rex *et al.*, 2010).

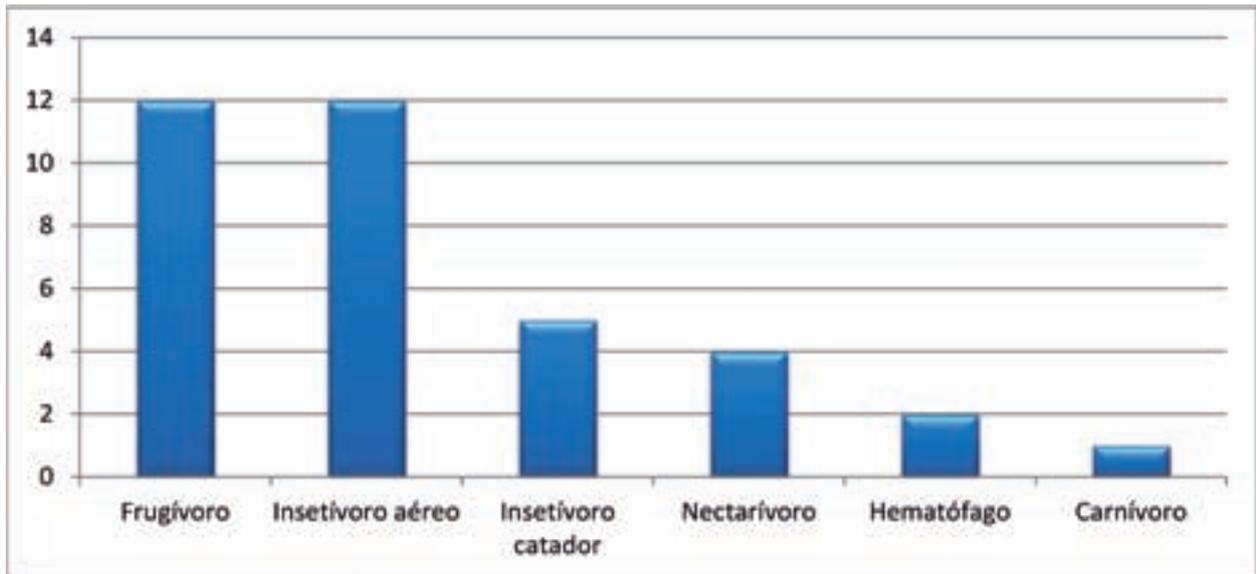


Figura 8 - Número de espécies por guilda de forrageamento nos ecossistemas ferruginosos de MG.

A diversidade trófica é um aspecto importante do ponto de vista ecológico. Através da sua dieta os morcegos frugívoros, insetívoros e nectarívoros assumem um papel importante na regeneração de matas, na reprodução de uma ampla variedade de plantas nativas e comerciais, e na supressão de artrópodes, muitos dos quais são pragas agrícolas ou apresentam riscos para a saúde humana (Kunz *et al.*, 2011). Estas atividades compõem uma vasta gama de processos ecológicos chamados de Serviços Ecossistêmicos (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).

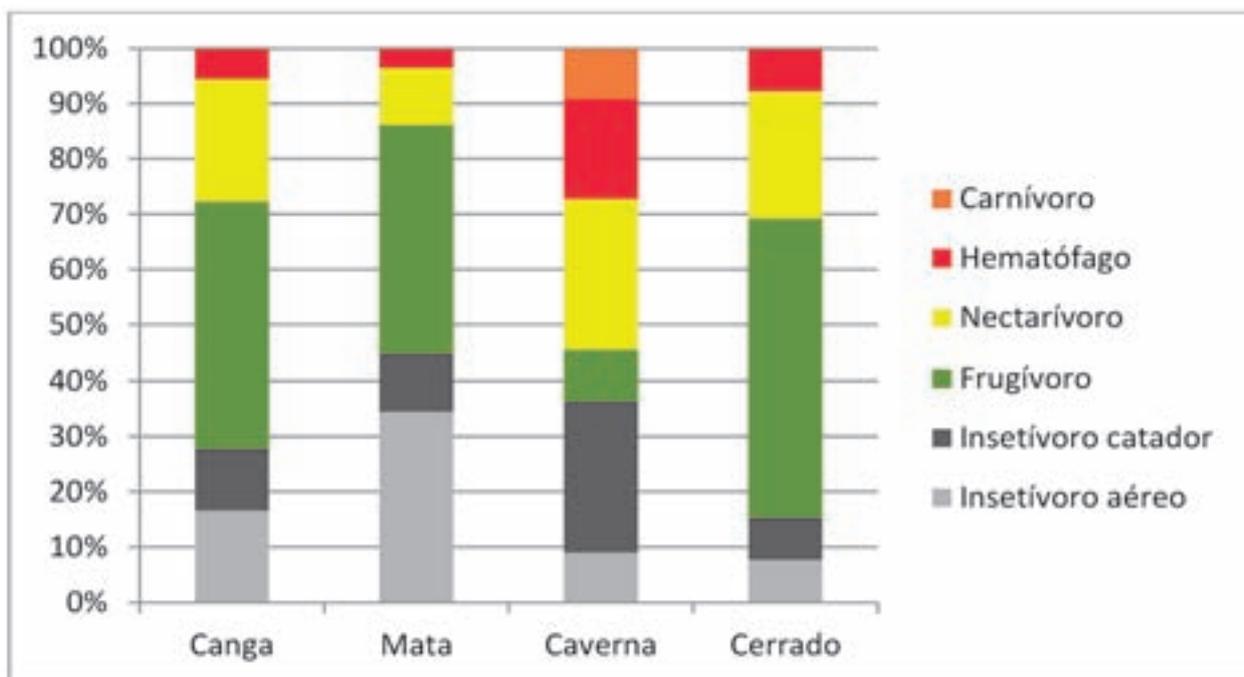


Figura 9 – Percentual de ocorrência das guildas de forrageamento em cada um dos ambientes de captura, por número de espécies.

Dentre estes serviços, o controle biológico é um dos mais bem estudados. Experimentos indicam uma incrível capacidade de consumo de artrópodes por morcegos, de forma que seu valor para o setor agrícola gira em torno de 22,9 bilhões de dólares anualmente (Boyles *et al.*, 2011). Em períodos reprodutivos, fêmeas de algumas espécies podem consumir uma biomassa de insetos superior ao próprio peso todas as noites (Kurta *et al.* 1989), e estima-se que as grandes colônias de *Tadarida brasiliensis* no Novo México consumam cerca de 8,4 toneladas de insetos diariamente (Kunz *et al.*, 2011). Considerando sua alta capacidade de dispersão, acredita-se que os morcegos insetívoros viventes nos fragmentos ainda íntegros dos ecossistemas ferruginosos possam facilmente se deslocar pelos arredores e forragear pelas plantações ali existentes (vide mapa da Figura 10), contribuindo para a supressão de pragas agrícolas nestas regiões tal como já foi verificado em outros locais (por ex. Cleveland *et al.*, 2006; Bernard & Fenton, 2003). Com um menor uso de agrotóxicos em função do controle natural realizado pelos morcegos, evita-se a contaminação do solo, dos mananciais aquáticos e o acúmulo de pesticidas sobre a cadeia alimentar (Kunz *et al.*, 2011).

Outro serviço de grande importância prestado pelos morcegos é a dispersão de sementes. Pelo menos 750 espécies de plantas são consumidas pelos morcegos em todo o mundo (Altringham, 2011c). Em função dos seus grandes deslocamentos e do hábito de defecar em pleno vôo, os morcegos depositam as sementes ingeridas longe da planta mãe. Muitas destas plantas são consideradas pioneiras, isto é, são presentes nos estágios iniciais de sucessão ecológica, de forma que o comportamento dos morcegos tem papel chave na estruturação da flora de ecossistemas tropicais e regeneração florestal (Muscarella & Fleming, 2007; Fleming & Sosa, 1994). Com o desmatamento acelerado, a expansão das fronteiras agropecuárias e urbanas e a intensificação dos empreendimentos minerários, o serviço de dispersão de sementes emerge como uma peça fundamental para a restauração dos ecossistemas degradados de Minas Gerais.

Além da dispersão de sementes, a polinização por morcegos é também extremamente relevante na estruturação da flora tropical (Fleming & Sosa, 1994). Uma grande variedade de plantas nativas depende da polinização por morcegos para sua reprodução, muitas das quais tem alguma utilidade comercial ao homem ou correm perigo de extinção, tal como o pequiheiro (*Caryocar brasiliense*) (Gribel & Hay, 1993).

Entretanto, o real papel dos morcegos no controle biológico, dispersão de sementes e polinização nos ecossistemas ferruginosos ainda permanece obscuro. Não existem levantamentos faunísticos mostrando quais grupos de artrópodes seriam potencialmente predados por morcegos nestes ambientes, nem mesmo estudos empíricos testando a sua associação com a flora local. Os únicos registros atuais a este respeito são extrapolações de interações entre morcegos e plantas verificadas em outros locais, e não são necessariamente verídicos para os ecossistemas ferruginosos. Logo, as colocações abaixo devem ser vistas com ressalva, uma vez que as espécies de plantas apresentadas não são exclusivas dos campos ferruginosos.

Nas cangas, sabe-se da ocorrência das espécies *Passiflora amethystina*, uma trepadeira/rastejante, e *Solanum granuloso-leprosum*, de hábito arbóreo, (Jacobi & Carmo, 2011; Viana & Lombardi, 2007), cujos frutos são consumidos por *Sturnira lilium* (Cáceres & Moura, 2003;

Marinho-filho, 1991). Os frutos de *Solanum granuloso-leprosum* também são consumidos por *Artibeus lituratus* e *Pygoderma bilabiatum* (Cáceres e Moura, 2003).

Apenas duas espécies de plantas são conhecidas por apresentar síndromes de quiropterofilia (especializações para a polinização por morcegos) nos campos ferruginosos: *Bauhinia rufa* e *Lafoensia pacari* (Jacobi & Carmo, 2011). Há relatos de visitação de *B. rufa* pelos morcegos *Phyllostomus discolor*, *Anoura caudifer* e *Anoura geoffroyi* (Sazima & Sazima, 1977; Sazima, 1976), e de *L. pacari* por *Glossophaga soricina* (Gribel & Hay, 1993), sendo todas estas espécies de morcegos presentes no inventário aqui exposto.

Cerca de outros 35 gêneros de plantas presentes nas cangas (famílias Annonaceae, Bromeliaceae, Clusiaceae, Convolvulaceae, Ebenaceae, Malpighiaceae, Melastomataceae, Myrtaceae, Passifloraceae e Polygonaceae) apresentam associação com morcegos, tanto de dispersão quanto de polinização (Rafael Almeida de Souza, comunicação pessoal), e podem representar interações ainda desconhecidas entre recursos da canga e morcegos.

Ameaças

O Brasil abriga duas das maiores reservas de minério de ferro do mundo: o Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, e a região de Carajás, no Pará (Campos & Castilho, 2012; Carmo, 2010). Com a crescente demanda por minério de ferro no cenário internacional, as pressões sobre as reservas naturais tornam-se cada vez maiores, e estas duas províncias minerais são os principais alvos para a exploração nos próximos anos (Carmo, 2010). Uma fração muito pequena delas é legalmente protegida, e boa parte já se encontra em áreas de concessão de lavra (Fernandes *et al.*, 2014; Carmo, 2010). Com isso, milhões de toneladas de minério de ferro são retiradas anualmente das serras brasileiras, descaracterizando completamente os ambientes que serviam de hábitat para toda a fauna local, inclusive para os morcegos. As dezenas de cavas de mineração operantes atualmente no Quadrilátero Ferrífero geram ruído, vibrações, emissão de material particulado e frequentemente a destruição da própria caverna. Assim, as espécies cavernícolas são possivelmente as mais afetadas neste processo, pois há perda irreversível dos abrigos, forçando os animais a se deslocarem ou simplesmente perecerem.

A quiropterofauna cavernícola também pode ser afetada negativamente por outros impactos comuns, como a visitação inadequada nas cavernas e a presença de estradas de grande movimento nas proximidades. A crescente presença destes fatores pode levar à homogeneização da biota e considerável perda da diversidade de morcegos nas cavernas, com algumas poucas espécies mais resistentes tornando-se dominantes. Em muitos casos, são essas mesmas espécies resistentes e dominantes as responsáveis por danos à saúde pública, como é o caso do hematófago *Desmodus rotundus* na transmissão da raiva (Bredt, 1998).

Esta situação foi agravada por mudanças recentes na legislação brasileira. Uma delas foi a implantação do Decreto 6640, de 7 de novembro de 2008, que classifica as cavernas brasileiras em graus de relevância, devendo ser protegidas integralmente apenas as cavidades consideradas de

“máxima relevância”, segundo uma série de critérios pré-estabelecidos. O Decreto 6640 alterou a legislação vigente até então (Decreto nº 99556, de 1º de Outubro de 1990), que previa proteção total a todas as cavidades naturais subterrâneas em território nacional. Essa mudança põe em risco não somente populações de morcegos residentes em cavernas (especialmente as espécies dependentes deste tipo de abrigo), como também todo o ecossistema cavernícola, que em muitos casos depende do guano (fezes de morcegos) como fonte de entrada de nutrientes (Ferreira *et al.*, 2007; Ferreira, 2005; Ferreira & Martins, 1999). Concluimos, portanto, que a principal ameaça para a conservação dos morcegos em ecossistemas ferruginosos é provavelmente perda de hábitat devido à atividade minerária.

Outra mudança importante foi feita no Código Florestal Brasileiro, com a revogação da Lei 4771, de 15 de setembro de 1965, pela Lei 12651, de 25 de maio de 2012. Na prática, essa lei promove a redução das Áreas de Preservação Permanente e Reservas Legais, bem como a anistia de crimes ambientais e possibilidade de “reflorestamento” com vegetação exótica, além de outras medidas que incontestavelmente levam à fragmentação e deterioração de hábitats, com consequente redução da oferta de abrigo e alimento para a fauna silvestre (Bernard *et al.*, 2012). Espécies associadas a formações florestais, como matas de galeria, florestas ripárias e capões de altitude, ambientes estes frequentes no mosaico de paisagens dos ecossistemas ferruginosos, poderão sofrer declínios populacionais. A substituição dos remanescentes de vegetação nativa por pastagens e plantações também promove a homogeneização da paisagem, comprometendo a conectividade e o fluxo gênico entre os fragmentos, tanto dos morcegos propriamente ditos quanto das plantas que deles dependem para sua dispersão e/ou polinização (Bernard *et al.*, 2012). O ecossistema como um todo pode ser assim prejudicado pela perda dos serviços prestados pelos morcegos.

Entretanto, outras ações antrópicas também geram preocupações. No caso do Quadrilátero Ferrífero, que se situa muito próximo da capital Belo Horizonte, a expansão imobiliária que alcança as serras ao redor do núcleo urbano vem também contribuindo significativamente para a degradação das cangas e seus arredores, fragmentando hábitats em detrimento da fauna associada (Viana & Lombardi, 2007).

Apesar de fazer parte da dinâmica da ciclagem de nutrientes em vários ecossistemas campestres, sobretudo no Cerrado, é possível que o fogo também seja um fator importante no controle das populações de morcegos, tendo em vista que sua periodicidade tem aumentado visivelmente em função das queimadas criminosas (IBAMA, 2009). Essa maior regularidade pode influenciar tanto a mortalidade direta dos animais quanto a perturbação da estrutura fitofisionômica local, alterando seus locais de forrageio, seus abrigos, a disponibilidade de recursos vegetais e consequentemente de insetos e outros animais predados pelos morcegos (Loeb & Waldrop, 2008; Carter *et al.*, 2000). Estudos em regiões temperadas mostram que a alteração da estrutura fitofisionômica pode beneficiar certas espécies e prejudicar outras, dependendo do tipo de forrageio e abrigo por elas utilizado (Lacki *et al.*, 2009; Boyles & Aubrey, 2006; Fisher & Wilkinson, 2005). Entretanto, pouco se sabe sobre esse assunto com relação aos morcegos em ecossistemas tropicais, mas é sem dúvida um tópico que merece atenção num cenário de queimadas cada vez mais frequentes.

Em menor escala, o medo, o preconceito e a ignorância por parte dos humanos também são responsáveis pela mortalidade dos quirópteros. Injustamente, estes animais são associados a vampiros, criaturas demoníacas, malignas ou mesmo transmissores incondicionais de doenças, sendo que apenas três das cerca de 1200 espécies conhecidas no mundo apresentam hábito hematófago (Bredt *et al.*, 1998). Estes receios frequentemente levam a reações negativas por parte da população e até dos órgãos de saúde pública quando em contato com os morcegos. Muitas vezes eles são mortos indiscriminadamente simplesmente por adentrarem nas residências humanas, e os agentes responsáveis pelo controle e combate dos hematófagos (a título de controle da raiva nos animais domésticos e de criação) nem sempre tem o preparo técnico adequado para tal função (Bernard *et al.*, 2012). Com isso, é comum utilizarem métodos de extermínio pouco seletivos, como pastas tóxicas aplicadas indiscriminadamente sobre o pelo dos animais, que levam à mortandade geral das espécies, e não somente dos hematófagos (Bernard *et al.*, 2012; Bredt, 1998). Este procedimento pode colocar em risco a sobrevivência de várias populações de morcegos, principalmente no caso de populações pequenas ou restritas a cavernas, onde o contato físico entre os animais tende a ser maior. Vale ressaltar que a legislação vigente (Artigo 1º da Lei nº 5197, de 3 de janeiro de 1967) prevê proteção integral aos morcegos, como o faz com toda a fauna silvestre, sendo considerado crime ambiental seu manejo indevido:

Os animais de quaisquer espécies, em qualquer fase do seu desenvolvimento e que vivem naturalmente fora do cativeiro, constituindo a fauna silvestre, bem como seus ninhos, abrigos e criadouros naturais são propriedades do Estado, sendo proibida a sua utilização, perseguição, destruição, caça ou apanha.

Em tese, as unidades de conservação deveriam garantir proteção para a fauna nativa e possibilitar a continuidade das suas populações (MMA, 2014; Brasil, 2000), o que nem sempre ocorre na prática. Várias dessas UCs são criadas, mas não apresentam um plano de manejo adequado ou sequer dispõem de infraestrutura e pessoal capacitado para sua manutenção. No Quadrilátero Ferrífero, elas estão submetidas à pressão de mineradoras, expansão urbana, caça ilegal, manejo indevido de flora e desmatamento. Estas atividades geralmente contribuem para que a conectividade entre os fragmentos seja prejudicada e para um aumento no efeito de borda sobre as UCs, fazendo com que sua biodiversidade fique ilhada (Morcatty *et al.*, 2013). Algumas dessas unidades, como o Parque Estadual da Serra do Rola Moça e o recém criado Parque Nacional das Águas do Gandarela, chegam a ter seus limites completamente recortados de forma a atender ao interesse das grandes mineradoras, desconsiderando atributos biológicos e geográficos essenciais para a conservação das espécies de interesse e também as demandas das comunidades locais.

Morcatty *et al.* (2013) mostram que, para médios e grandes mamíferos, nenhuma das reservas do Quadrilátero Ferrífero atende as demandas mínimas de hábitat das espécies mais sensíveis, que seria em torno de 12000 ha. Adicionalmente, Reis *et al.* (2003) argumentam que, para morcegos, a conservação de grandes fragmentos é muito mais eficaz do que a conservação

de vários pequenos fragmentos isolados, prática oposta ao modelo mais adotado em Minas Gerais. Os pequenos fragmentos devem também ser preservados, mas como corredores ecológicos e pontos de repouso e dispersão para a fauna (Morcatty *et al.*, 2013), e não como áreas de conservação principais.

Os morcegos são relevantes para a integridade dos ecossistemas e participam de vários processos ecológicos com influência direta para a vida humana, portanto devem ser considerados como espécies prioritárias para as políticas de conservação no Quadrilátero Ferrífero.

Conclusões e perspectivas futuras

O presente estudo trata-se do status do conhecimento sobre distribuição de morcegos em ecossistemas ferruginosos de Minas Gerais, contabilizando 36 espécies registradas em 15 municípios. Apesar de resultar em uma riqueza expressiva, acreditamos que esta seja ainda muito preliminar, e que poderia ser ampliada pela utilização de outros métodos de amostragem, como o monitoramento acústico, redes de neblina montadas no dossel e o uso de armadilhas em harpa (Portfors *et al.*, 2000; Simmons & Voss, 1998). Espera-se ainda que, com o avanço nos trabalhos taxonômicos sobre a quiropterofauna brasileira, e com a revisão dos inúmeros espécimes já depositados nas coleções zoológicas, várias novas espécies sejam acrescentadas a lista aqui apresentada.

Além disso, considerando a grande abrangência dos ecossistemas ferruginosos no estado de MG, apenas uma fração foi de fato amostrada, como exposto na Figura 10. Mesmo estando a poucos quilômetros de Belo Horizonte, capital do estado e uma das maiores cidades do país, praticamente nada sabemos acerca da quiropterofauna do Quadrilátero Ferrífero. Esse quadro é recorrente na maior parte do Brasil, onde a grande maioria dos inventários se concentra nas proximidades dos grandes núcleos urbanos, sobretudo no Sudeste do país (Bernard *et al.*, 2011). A não publicação de relatórios e levantamentos realizados nos processos de licenciamento ambiental também dificulta a difusão do conhecimento, e mesmo a informação mais básica sobre a quiropterofauna, uma lista de espécies, fica confinada nos arquivos dos órgãos ambientais e o acesso a ela torna-se mais difícil tanto para a comunidade acadêmica como para a população em geral (Bernard *et al.*, 2012).

Esse panorama de desconhecimento é a primeira grande dificuldade encontrada na conservação da biodiversidade de uma forma geral, não apenas quanto aos morcegos. Uma solução prática seria a obrigatoriedade de inclusão em repositório online e de livre acesso, de toda informação gerada a partir de processos de licenciamento ambiental, operacionalizando assim o direito do público ao acesso a informações e etapas deste processo. A implantação de um programa, em nível nacional, de marcação e monitoramento de morcegos também contribuiria sensivelmente para a melhoria no conhecimento sobre sua ecologia, distribuição e status de conservação, permitindo assim a elaboração de planos de manejo mais práticos e eficazes.

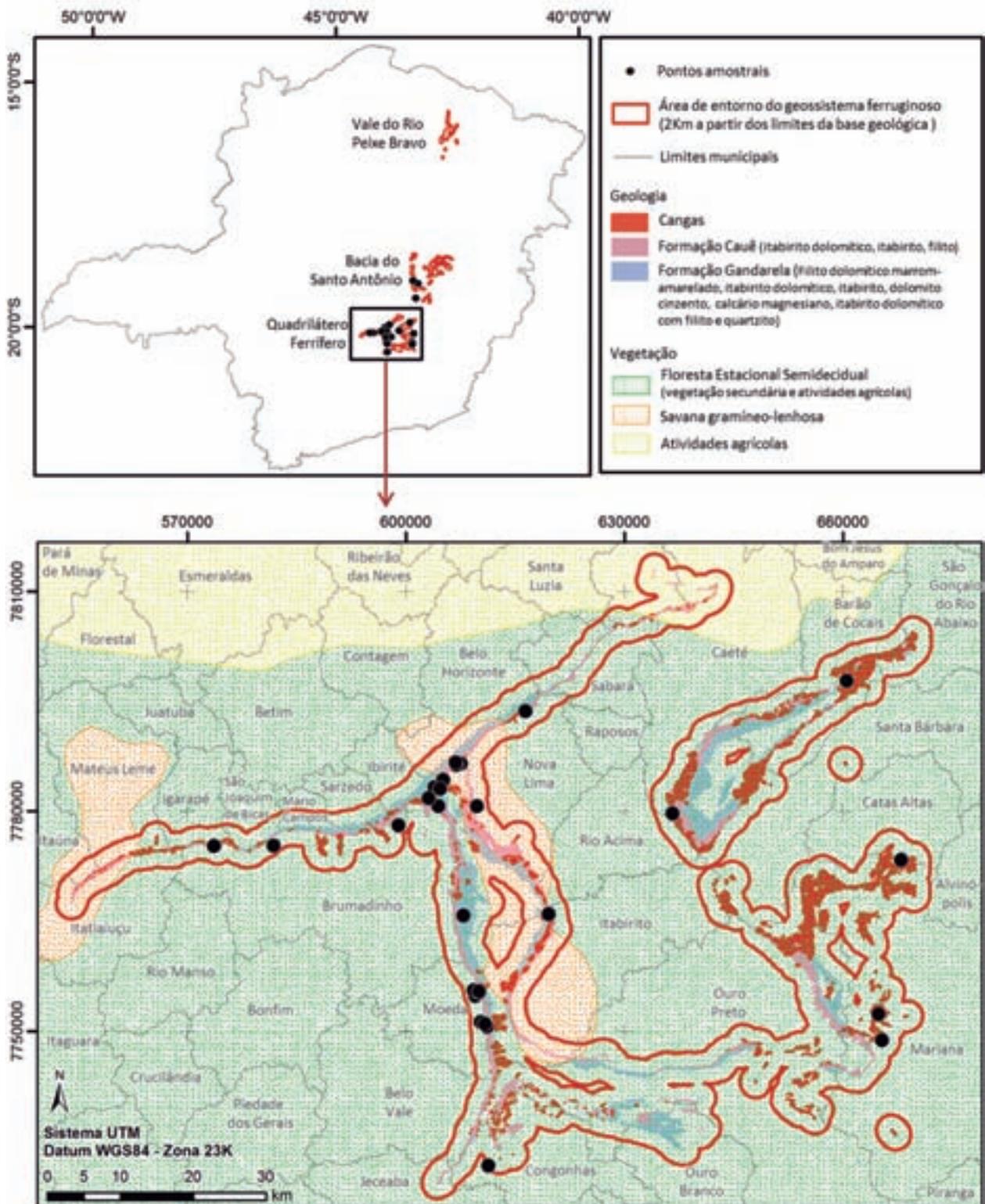


Figura 10 - Ocorrência dos geossistemas ferruginosos no estado de Minas Gerais, evidenciando os pontos de amostragem, formações geológicas, domínios fitofisionômicos e uso de solo.

Adicionalmente, a coleta sistemática de material polínico encontrado na pelagem dos morcegos, e também a análise minuciosa do seu conteúdo fecal, poderia revelar informações importantes sobre o tipo de recurso consumido por eles nos ecossistemas ferruginosos, e que proporção destes recursos provém das cangas. Pesquisas com radio-telemetria também seriam esclarecedores neste aspecto, mostrando como os morcegos se deslocam pelo espaço, e se de fato eles forrageiam nas cangas. Este tipo de abordagem será crucial para determinar o quanto os morcegos são dependentes dos ecossistemas ferruginosos e vice-versa, e se planos de conservação nestes locais são importantes para a viabilidade das populações dos quirópteros e plantas com as quais eles interagem. Pesquisas básicas de revisão de táxons são fundamentais para subsidiar estes outros estudos, de forma a compreender e documentar a real diversidade ali existente.

Ressaltamos que o atual trabalho é um dos primeiros passos para uma melhor compreensão acerca da relação entre morcegos e ambientes ferruginosos. Investigações mais acuradas devem ocorrer, principalmente utilizando novas técnicas e metodologias, como a genética de populações, abordagem de redes complexas, ecologia da paisagem e modelagem de nicho.

Estas novas abordagens permitem saber não somente as espécies presentes no local, mas como elas se distribuem pela paisagem, suas preferências de hábitat, comportamento, seu status de conservação e como elas interagem com o ambiente: suas presas, predadores, parasitas, dieta e funções ecológicas. Estudos mais aprofundados revelam informações valiosas para um melhor entendimento dos morcegos e sua função na natureza, com isso acreditamos que a atualização dos métodos utilizados nos Estudos de Impacto Ambiental (EIAs), através de ferramentas já consolidadas em meio científico, traria novas perspectivas para a tomada de decisões e delineamento de estratégias de conservação.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer à Iara Campos, pela produção do mapa da Figura 10, ao Adriano Paglia pela revisão do capítulo, e ao Renato Gregorin pelas informações sobre os morcegos depositados na Coleção de Mamíferos da Universidade Federal de Lavras. Somos gratos ao Pablo Leal Cardozo e à Carolina Righi Araújo pela ajuda na confecção do diagrama da Figura 7.

Agradecemos também ao Rafael Almeida de Souza pelas informações acerca das interações entre morcegos e plantas nas cangas, e à FAPEMIG, pela bolsa concedida ao primeiro autor e pelo financiamento de parte desta pesquisa (processo RDP-00192-10, Chamada de Propostas 01/2010 - FAPEMIG/FAPESP/FAPESPA/VALE S.A). Somos igualmente gratos ao PRPq (Pró-Reitoria de Pesquisa da UFMG), pelo auxílio financeiro através do Edital de Apoio a Doutores Recém-contratados.

Referências Bibliográficas

- Altringham, J.D. 2011a. Introduction - a biology lesson from the bats. In: *Bats: from Evolution to Conservation*. 2nd edition. Oxford: Oxford University Press. p. xi-xv.
- Altringham, J.D. 2011b. Roosting and feeding ecology. In: *Bats: from Evolution to Conservation*. 2nd edition. Oxford: Oxford University Press. p. 137-165.
- Altringham, J.D. 2011c. Biogeography, macroecology, community ecology, and the interactions between bats and other organisms. In: *Bats: from Evolution to Conservation*. 2nd edition. Oxford: Oxford University Press. p. 195-220.
- Araujo, A.V.; Gomes, A.M. & Paglia, A.P. 2013. Comunidade de Morcegos em uma Caverna Ferruginosa na Serra da Moeda, MG. Brasília: *Anais do VII Encontro Brasileiro para o Estudo de Quirópteros*.
- Avila-Cabadilla, L.D.; Stoner, K.E.; Henry, M. & Añorve, M.Y.A. 2009. Composition, structure and diversity of phyllostomid bat assemblages in different successional stages of a tropical dry forest. *Forest Ecology and Management*, 258: 986–996.
- Avila-Flores, R. & Medellín, R.A. 2004. Ecological, taxonomic, and physiological correlates of cave use by Mexican bats. *Journal of Mammalogy*, 85(4): 675-687.
- Bernard, E.; Aguiar, L.M.S.; Brito, D.; Cruz-Neto, A.P.; Gregorin, R.; Machado, R.B.; Oprea, M.; Paglia, A.P. & Tavares, V.C. 2012. Uma análise de horizontes sobre a conservação de morcegos no Brasil. In: Freitas, T.R.O. & Vieira, E.M. *Mamíferos do Brasil: Genética, Sistemática, Ecologia e Conservação*. v. 2. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Mastozoologia. p. 19-35.
- Bernard, E.; Aguiar, L.M.S. & Machado, R.B. 2011. Discovering the Brazilian bat fauna: a task for two centuries? *Mammal Review*, 41: 23-39.
- Bernard, E. & Fenton, M.B. 2003. Bat Mobility and Roosts in a Fragmented Landscape in Central Amazonia, Brazil. *Biotropica*, 35 (2): 262-277.
- Boyles, J.G. & Aubrey, D.P. 2006. Managing forests with prescribed fire: Implications for a cavity-dwelling bat species. *Forest Ecology and Management*, 222: 108-115.
- Boyles, J.G.; Cryan, P.M.; McCracken, G.F. & Kunz, T.H. 2011. Economic importance of bats in agriculture. *Science*, 332: 41-42.
- Brasil. 2000. Lei nº 9.985. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em 11/11/2014.
- Brasil. 2014. Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção. Portaria Nº 444, de 17 de dezembro de 2014. Diário Oficial da União – seção 1.
- Bredt, A.; Uieda, W. & Magalhães, E.D. 1999. Morcegos cavernícolas da região do Distrito Federal, centro-oeste do Brasil (Mammalia, Chiroptera). *Revista Brasileira de Zoologia*, 16 (3): 731-770.
- Bredt, A. et. al. 1998. *Morcegos em áreas urbanas e rurais: manual de manejo e controle*. 2ª edição. Brasília: Fundação Nacional de Saúde.

- Cáceres, N.C. & Moura, M.O. 2003. Fruit removal of a wild tomato, *Solanum granuloseprosum* Dunal (Solanaceae), by birds, bats and non-flying mammals in an urban Brazilian environment. *Revista Brasileira de Zoologia*, 20: 519-522.
- Campos, J.C.F. & Castilho, A.F. 2012. Uma Visão Geográfica da Região da Flona de Carajás. In: Martins, F.D.; Castilho, A.F.; Campos, J.; Hatano, F.M. & Rolin, S.G. *Fauna da Floresta Nacional de Carajás: estudos sobre vertebrados terrestres*. p.30-63. Nitro Editorial. 233pp.
- Carmo, F.F. 2010. *Importância Ambiental e Estado de Conservação dos Ecossistemas de Cangas no Quadrilátero Ferrífero e Proposta de Áreas-alvo para a Investigação e Proteção da Biodiversidade em Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais: Instituto de Ciências Biológicas.
- Carmo, F.F. & Jacobi, C.M. 2013. A vegetação de canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: caracterização e contexto fitogeográfico. *Rodriguésia*, 64 (3): 527-541.
- Carter, T.C.; Ford, W.M. & Menzel, M.A. 2000. Fire and Bats in the Southeast and Mid-Atlantic: More Questions Than Answers? In: Ford, W.M.; Russel, K.R. & Moorman, C.E. *The Role of Fire in Nongame Wildlife Management and Community Restoration: Traditional Uses and New Directions. Proceedings of a Special Workshop*, p. 139-143.
- Carvalho, W.D.; Martins, M.A.; Dias, D. & Esberard, C.E.L. 2013. Extension of geographic range, notes on taxonomy and roosting of *Histiotus montanus* (Chiroptera: Vespertilionidae) in southeastern Brazil. *Mammalia*, 77: 341-346.
- Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – CECAV. 2015. Base de dados geoespacializados das cavernas do Brasil. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/downloads/mapas.html>. Acesso em 12 fev. 2015.
- Cinergix Pty Ltd. 2011. Creately. Online Diagram Software. Disponível em: <http://creately.com/>. Acesso em 26 fev. 2015.
- Cleveland, C.J.; Betke, M.; Federico, P.; Frank, J.D.; Hallam, T.G.; Horn, J.; López Jr, J.D.; McCracken, G.F.; Medellín, R.A.; Moreno-Valdez, A.; Sansone, C.G.; Westbrook, J.K. & Kunz, T.H. 2006. Economic value of the pest control service provided by Brazilian free-tailed bats in south-central Texas. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(5): 238-243.
- Falcão, L.A.D.; Espírito-Santo, M.M.; Leite, L.O.; Garro, R.N.S.L., Avila-Cabadilla, L.D. & Stoner, K.E. 2014. Spatiotemporal variation in phyllostomid bat assemblages over a successional gradient in a tropical dry forest in southeastern Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 30: 123-132.
- Fernandes, G.W.; Barbosa, N.P.U.; Negreiros, D. & Paglia, A.P. 2014. Challenges for the conservation of vanishing megadiverse rupestrian grasslands. *Natureza & Conservação*, 12(2): 162-165.
- Ferreira, R.L. 2005. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. *O Carste*, 17 (3): 106-115.
- Ferreira, R.L. & Martins, R.P. 1999. Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities, with special reference to Brazilian caves. *Tropical Zoology*, 12: 231-252.
- Ferreira, R.L.; Prous, X. & Martins, R.P. 2007. Structure of bat guano communities in a dry Brazilian cave. *Tropical Zoology*, 20: 55-74.

Fisher, J.T. & Wilkinson, L. 2005. The response of mammals to forest fire and timber harvest in the North American boreal forest. *Mammal Review*, 35: 51–81.

Fleming, T.H. & Sosa, V.J. 1994. Effects of Nectarivorous and Frugivorous Mammals on Reproductive Success of Plants. *Journal of Mammalogy*, 75 (4): 845-851.

Gardner, A.L. 1977. Feeding Habits. In: Baker, R.J.; Jones, J.K. & Carter, D.C. *Biology of bats of the New World Family Phyllostomatidae*. Part II. Special Publications Museum Texas Tech University, Lubbock. p. 293-350.

Gomes, A.M. 2014. *Uso de hábitat por morcegos em ecossistemas ferruginosos: um subsídio para a conservação*. Monografia de conclusão de curso de graduação. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Biológicas.

Gomes, A.M.; Araujo, A.V.; Falcão, L.A.D.; Rodrigues, M.S.P.; Carmo, F.F. & Paglia, A.P. 2013a. Seleção de cavernas ferruginosas como abrigo por morcegos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Anais do 32º Congresso Brasileiro de Espeleologia*.

Gomes, A.M.; Araujo, A.V.; Moras, L.M. & Paglia, A.P. 2013b. Assembleia de morcegos em três ambientes distintos: mata ciliar, canga e caverna ferruginosa. Brasília. *Anais do VII Encontro Brasileiro para o Estudo de Quirópteros*.

Gregorin, R. & Loureiro, L.O. 2011. New records of bats for the state of Minas Gerais, with range extension of *Eptesicus chiriquinus* Thomas (Chiroptera: Vespertilionidae) to southeastern Brazil. *Mammalia*, 75: 291–294.

Gregorin, R.; Tahara, A.S. & Buzzato, D.F. 2011. *Molossus aztecus* and Other Small *Molossus* (Chiroptera: Molossidae) in Brazil. *Acta Chiropterologica*, 13(2): 311-317.

Gribel, R. & Hay, J.D. 1993. Pollination Ecology of *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) in Central Brazil Cerrado Vegetation. *Journal of Tropical Ecology*, 9(2): 199-211.

Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. 2009. *Relatório de Ocorrência de Incêndios em Unidades de Conservação Federais 2005-2008*. Brasília. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/prevfogo>. Acesso em 08 set. 2014.

Instituto Chico Mendes de Biodiversidade – ICMBio. 2008. *Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção*. Biodiversidade 19, Volume II: Mamíferos. Brasília. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/fauna-brasileira/lista-de-especies/livro-vermelho>. Acesso em 12 set. 2014.

Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. 2008. Diversidade dos campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, MG. *Megadiversidade*, 4(1-2): 25-33.

Jacobi, C.M.; Carmo, F.F.; Vincent, R.C. & Stehmann, J.R. 2007. Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 16: 2185-2200.

Kalko, E.K.V.; Handley Jr, C.O. & Handley, D. 1996. Organization, Diversity, and Long-Term Dynamics of a Neotropical Bat Community. In: Cody, M.L. & Smallwood, J.A. *Long-Term Studies of Vertebrate Communities*. Academic Press. p. 503-553.

Kunz, T.H.; Torrez, E.B.; Bauer, D.; Lobova, T. & Fleming, T.H. 2011. Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1223: 1-38.

- Kurta, A.; Bell, G.P.; Nagy, K.A. & Kunz, T.H. 1989. Energetics of pregnancy and lactation in free-ranging little brown bats (*Myotis lucifugus*). *Physiological Zoology*, 62: 804-818.
- Lacki, M.J.; Cox, D.R.; Dodd, L.E. & Dickinson, M.B. 2009. Response of Northern bats (*Myotis septentrionalis*) to Prescribed Fires in Eastern Kentucky Forests. *Journal of Mammalogy*, 90(5): 1165-1175.
- Leite, R.N. & Rogers, D.S. 2013. Revisiting Amazonian phylogeography: insights into diversification hypotheses and novel perspectives. *Organisms Diversity and Evolution*, 13: 639-664.
- Loeb, S.C. & Waldrop, T.A. 2008. Bat activity in relation to fire and fire surrogate treatments in southern pine stands. *Forest Ecology and Management*, 255: 3185-3192.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC. Disponível em: <http://www.millenniumassessment.org/en/index.html>. Acesso em 02 jul. 2014.
- Ministério do Meio Ambiente. 2014. *Sistema Nacional de Unidades Conservação – SNUC*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/sistema-nacional-de-ucs-snuc>. Acesso em 11 nov. 2014.
- Moras, L.M.; Gomes, A.M. & Tavares, V.C. 2014. Distribution and taxonomy of the common big-eared bat *Micronycteris microtis* (Chiroptera: Phyllostomidae) in South America. *Mammalia*. Disponível em: <http://www.degruyter.com/view/j/mamm.ahead-of-print/mammalia-2014-0057/mammalia-2014-0057.xml>. Acesso em 12 fev. 2015.
- Morcatty, T.Q.; El Bizri, H.R.; Carneiro, H.C.S.; Biasizzo, R.L.; Alméri, C.R.O.; Silva, E.S.; Rodrigues, F.H.G. & Figueira, J.E.C. 2013. Habitat loss and mammalian extinction patterns: are the reserves in the Quadrilátero Ferrífero, southeastern Brazil, effective in conserving mammals? *Ecological Research*, 28(6): 935-947.
- Muscarella, R. & Fleming, T.H. 2007. The role of frugivorous bats in tropical forest succession. *Biological Reviews*, 82: 573–590.
- Nogueira, M.R.; Lima, I.P.; Moratelli, R.; Tavares, V.C.; Gregorin, R. & Peracchi, A.L. 2014. Checklist of Brazilian bats, with comments on original records. *Check List*, 10(4): 808–821.
- Paglia, A.P.; Fonseca, G.A.B.; Rylands, A.B.; Herrmann, G.; Aguiar, L.M.S.; Chiarello, A.G.; Leite, Y.L.R.; Costa, L.P.; Siciliano, S.; Kierulff, M.C.M.; Mendes, S.L.; Tavares, V.C.; Mittermeier, R.A. & Patton J.L. 2012. Annotated Checklist of Brazilian Mammals. 2nd edition. *Occasional Papers in Conservation Biology*, No. 6. Conservation International, Arlington. 76 p.
- Piló, L.B. & Auler, A.S. 2005. Cavernas em minério de ferro e canga de Capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, MG. *O Carste*, 17(3): 92-105.
- Portfors, C.V.; Fenton, M.B.; Aguiar, L.M.S.; Baumgarten, J.E.; Vonhof, M.J.; Bouchard, S.; Faria, D.M.; Pedro, W.A.; Rauntenbach, N.I.L. & Zortéa, M. 2000. Bats from Fazenda Intervalas, Southeastern Brazil - species account and comparison between different sampling methods. *Revista Brasileira de Zoologia*, 17(2): 533-538.
- Reis, N.R.; Barbieri, M.L.S.; Lima, I.P. & Peracchi, A.L. 2003. O que é melhor para manter a riqueza de espécies de morcegos (Mammalia, Chiroptera): um fragmento florestal grande ou vários fragmentos de pequeno tamanho? *Revista Brasileira de Zoologia*, 20(2): 225–230.

- Reis, N.R.; Shibatta, O.A.; Peracchi, A.L.; Pedro, W.A. & Lima, I.P. 2007. Sobre os Morcegos Brasileiros. In: Reis, N.R.; Peracchi, A.L.; Pedro, W.A. & Lima, I.P. *Morcegos do Brasil*. Londrina.
- Rex, K.; Czaczkas, B.I.; Michener, R.; Kunz, T.H. & Voigt, C.C. 2010. Specialization and omnivory in diverse mammalian assemblages. *Écoscience*, 17(1): 37-46.
- Ricklefs, R.E. 2010. *A Economia da Natureza*. 6ª edição. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan. 572 p.
- Sazima, I. & Sazima, M. 1977. Solitary and Group Foraging: Two Flower-Visiting Patterns of the Lesser Spear-Nosed Bat *Phyllostomus discolor*. *Biotropica*, 9(3): 213-215.
- Sazima, I. 1976. Observations on the feeding habits of Phyllostomatid bats (*Carollia*, *Anoura*, and *Vampyrops*) in Southeastern Brazil. *Journal of Mammalogy*, 57(2): 381-382.
- Silva, L.H.D. 2013. *Caracterização da fauna de quirópteros (Chiroptera, Mammalia) em diferentes áreas na região cárstica de Minas Gerais - Brasil*. Dissertação de Mestrado. Viçosa: Universidade Feral de Viçosa.
- Simmons, G.C. 1963. Canga Caves in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *The National Speleological Society Bulletin*, 25: 66-72.
- Simmons, N.B.; Seymour, K.L.; Habersetzer, J. & Gunnell, G.F. 2008. Primitive Early Eocene bat from Wyoming and the evolution of flight and echolocation. *Nature*, 451: 818-822.
- Simmons, N.B. & Voss, R.S. 1998. Part 1. Bats. In: *The Mammals of Paracou, French Guiana: a Neotropical Lowland Rainforest Fauna*. Bulletin of the American Museum of Natural History 237. 219 p.
- Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE. 2015. Cadastro Nacional de Cavernas. Base de dados. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/cnc/CavernasBW/RegioesBrasil#>. Acesso em 12 fev. 2015.
- Talamoni, A.S.; Coelho, D.A.; Dias-Silva, L.H. & Amaral, A.A. 2013. Bat assemblages in conservation areas of a metropolitan region in Southeastern Brazil, including an important karst habitat. *Brazilian Journal of Biology*, 73(1): 1-11.
- Tavares, V. C.; Aguiar, L.M.S.; Perini, F.A.; Falcão, F.C. & Gregorin, R. 2010. Bats of the state of Minas Gerais, southeastern Brasil. *Chiroptera Neotropical*, 16(1): 675-705.
- Tavares, V.C. & Martins, C.S. MS in review. Distribution of Bats in karstic areas of the state of Minas Gerais, SE Brazil.
- Tavares, V. C.; Palmuti, C.F.S.; Gregorin, R. & Dornas, T.T. 2012. Morcegos. In: Martins, F.D.; Castilho, A.F.; Campos, J.; Hatano, F.M. & Rolin, S.G. *Fauna da Floresta Nacional de Carajás: estudos sobre vertebrados terrestres*. p. 162-179. Nitro Editorial. 233 p.
- Trajano, E. 1985. Ecologia de populações de morcegos cavernícolas em uma região cárstica do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 2(5): 255-320.
- Trajano, E. 1995. Protecting Caves for the Bats or Bats for the Caves? *Chiroptera Neotropical*, 1(2): 19-22.
- Viana, P.L. & Lombardi, J.A. 2007. Florística e caracterização dos campos rupestres sobre canga na Serra da Calçada, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia*, 58 (1): 159-177.

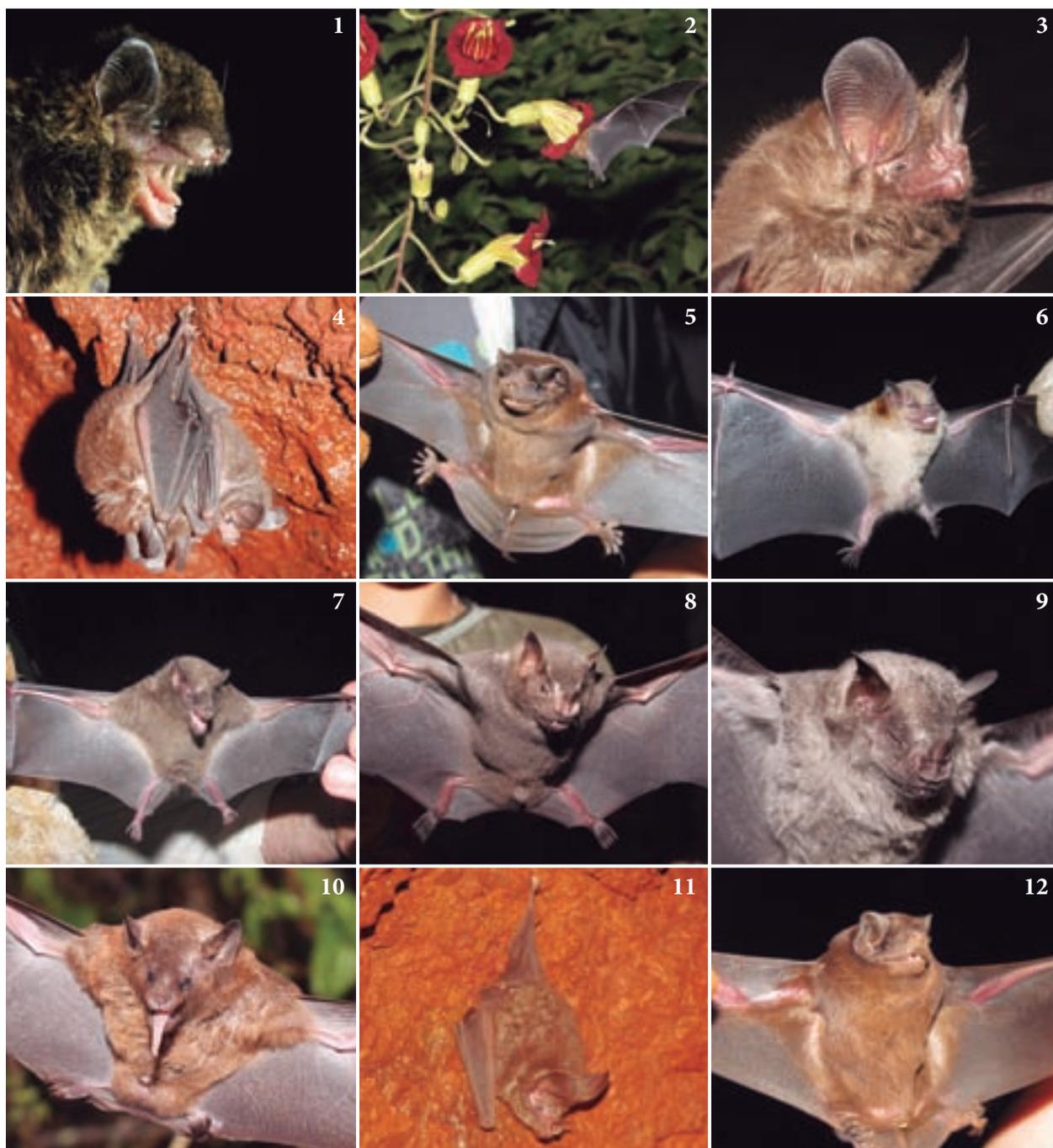
Tabela 1 - Lista de espécies de morcegos encontrados nos ecossistemas ferruginosos de MG. São apresentados também o ambiente de captura, guilda trófica, biomas e municípios de ocorrência. Biomas: Am = Amazônia; MA = Mata Atlântica; Ce = Cerrado; Ca = Caatinga; Pt = Pantanal; Pp = Pampas. Municípios: BC = Barão de Cocais; BH = Belo Horizonte; Bru = Brumadinho; CA = Catas Altas; Cae = Caeté; CMD = Conceição do Mato Dentro; Con = Congonhas; Igr = Igarapé; Ita = Itabirito; IMD = Itambé do Mato Dentro; Mar = Mariana; NL = Nova Lima; RA = Rio Acima; Sab = Sabará; SB = Santa Bárbara. 1= Presente estudo; 2= Tavares et al. 2010; 3= Talamoni et al. 2013; 4= Tavares & Martins in rev.; 5= Moras et al. 2014; 6= Coleção de Mamíferos da Universidade Federal de Minas Gerais (CMUFGM); 7= Coleção de Mamíferos da Universidade Federal de Lavras (CMUFLA).

Família/Espécie	Guilda trófica	Ambiente	Bioma de ocorrência	Município	Referências
Phyllostomidae					
<i>Anoura caudifer</i>	Nectarívoro	Canga; Caverna; Cerrado; Mata	Am, MA, Ce, Ca, Pt	BC; CA; BH; Bru; CMD; Con; Igr; Ita; IMD; Mar; NL; Sab	1, 2, 3, 4, 6
<i>Anoura geoffroyi</i>	Nectarívoro	Canga; Caverna; Mata	Am, MA, Ce, Ca, Pt	BC; CA; Bru; Ita; Mar; NL	1, 2, 3, 4, 6
<i>Artibeus cf. fimbriatus</i>	Frugívoro	Mata	MA, Ca, Pp	NL	1
<i>Artibeus lituratus</i>	Frugívoro	Canga; Cerrado; Mata	Am, MA, Ce, Ca, Pt	BC; CA; BH; IMD; Ita; Mar; NL; Sab	1, 2, 3, 4, 6
<i>Artibeus obscurus</i>	Frugívoro	Canga; Cerrado; Mata	Am, MA, Ce, Ca	BH; IMD; NL; Sab	1, 2, 3, 4, 6
<i>Artibeus planirostris</i>	Frugívoro	Canga; Cerrado; Mata	Am, MA, Ce, Ca, Pt	BC; CA; BH; Mar; NL; Sab	1, 2, 4, 6
<i>Carollia brevicauda</i>	Frugívoro	Mata	Am, MA	BC; Bru; CA; Mar	2, 3, 4, 6
<i>Carollia perspicilata</i>	Frugívoro	Canga; Cerrado; Caverna; Mata	Am, MA, Ce, Ca, Pt, Pa	BC; CA; BH; Bru; CMD; Igr; Ita; Mar; NL; Sab	1, 2, 3, 4, 6
<i>Chirodema doriae</i>	Frugívoro	Canga; Cerrado; Mata	MA, Ce, Pt	BC; BH; IMD; Mar; Sab	1, 2, 4, 6
<i>Chrotopterus auritus</i>	Carnívoro	Caverna	Am, MA, Ce, Ca, Pt, Pp	Bru; CMD	1, 2, 3, 4, 6
<i>Desmodus rotundus</i>	Hematófago	Canga; Cerrado; Caverna; Mata	Am, MA, Ce, Ca, Pt, Pp	BC; Bru; CA; BH; CMD; Igr; Ita; Mar; NL; Sab	1, 2, 3, 4, 6
<i>Diphylla ecaudata</i>	Hematófago	Caverna; Mata	Am, MA, Ce, Ca	BC; CMD; Igr	1, 2, 3, 4, 6, 7
<i>Glossophaga soricina</i>	Nectarívoro	Canga; Cerrado; Caverna; Mata	Am, MA, Ce, Ca, Pt, Pp	BC; Bru; CA; BH; Bru; CMD; Con; Igr; Ita; IMD; NL; Sab	1, 2, 3, 4, 6
<i>Glyphonycteris sylvestris</i>	Insetívoro catador	Mata	Am, MA	RA; Mar	1, 7
<i>Lonchophylla bokermanni</i>	Nectarívoro	Canga; Cerrado	MA, Ce	IMD	1
<i>Micronycteris megalotis</i>	Insetívoro catador	Canga; Cerrado; Caverna	Am, MA, Ce, Ca	Igr; IMD; NL	1, 2, 3, 4, 6
<i>Micronycteris microtis</i>	Insetívoro catador	Canga; Caverna; Mata	Am, MA	BC; CA; BH; Ita; NL; Sab	1, 2, 3, 4, 5, 6

Tabela 1 - continuação...

Família/Espécie	Guilddá trófica	Ambiente	Bioma de ocorrência	Município	Referências
<i>Mimon bennetti</i>	Insetívoro catador	Caverna	Am, MA, Ce, Ca, Pt	CA; Igr	1, 2, 4, 6, 7
<i>Phyllostomus discolor</i>	Insetívoro catador	Mata	Am, MA, Ce, Ca, Pt	Bru	2, 3, 4, 6
<i>Platyrrhinus lineatus</i>	Frugívoro	Canga; Cerrado; Mata	Am, MA, Ce, Ca, Pt	BC; BH; Bru; CA; CMD; Mar; NL	1, 2, 3, 4, 6
<i>Platyrrhinus recifinus</i>	Frugívoro	Mata	MA, Ce	Mar	1, 7
<i>Pygoderma bilabiatum</i>	Frugívoro	Canga; Mata	MA, Ce, Pt	Ita; Mar; NL	1, 2, 3, 4, 6
<i>Sturnira lilium</i>	Frugívoro	Canga; Cerrado; Mata	Am, MA, Ce, Ca, Pt, Pp	BC; CA; BH; Bru; Ita; NL; Sab	1, 2, 3, 4, 6
<i>Vampyressa pusilla</i>	Frugívoro	Mata	MA, Ce, Pt	NL	2, 3, 4, 6, 7
Vespertilionidae					
<i>Eptesicus brasiliensis</i>	Insetívoro aéreo	Cerrado; Mata	Am, MA, Ce, Ca, Pt, Pp	BH; Bru; CA; NL; Sab	1, 2, 3, 4, 6
<i>Eptesicus furinalis</i>	Insetívoro aéreo	Canga; Mata	Am, MA, Ce, Ca, Pt	NL; CA; Mar	1, 2, 4, 6
<i>Histiotus velatus</i>	Insetívoro aéreo	Canga; Mata	Am, MA, Ce, Ca, Pp	CA; Mar; NL	1, 2, 3, 4, 6
<i>Lasiurus blossevillii</i>	Insetívoro aéreo	Canga	Am, MA, Ce, Ca, Pp	BH; BC; Bru; Mar; NL	1, 3, 4, 6
<i>Lasiurus ega</i>	Insetívoro aéreo	Mata	Am, MA, Ce, Ca, Pt, Pp	NL	3
<i>Myotis nigricans</i>	Insetívoro aéreo	Mata	Am, MA, Ce, Ca, Pt, Pp	Bru; Mar; NL; Ita	1, 2, 3, 4, 6
<i>Myotis levis</i>	Insetívoro aéreo	Mata	MA, Pp	Ita; Mar	1, 7
<i>Myotis riparius</i>	Insetívoro aéreo	Mata	Am, MA, Ce, Ca, Pt	Mar	1, 7
<i>Myotis ruber</i>	Insetívoro aéreo	Mata	MA, Ca	NL	2, 3, 4, 6, 7
Molossidae					
<i>Molossops temminckii</i>	Insetívoro aéreo	Mata	Am, MA, Ce, Ca, Pt	Bru	3
<i>Molossus molossus</i>	Insetívoro aéreo	Mata	Am, MA, Ce, Ca, Pt, Pp	Bru; NL	3
Emballonuridae					
<i>Peropteryx macrotis</i>	Insetívoro aéreo	Caverna	Am, MA, Ce, Ca, Pt	CMD; SB	1, 2, 6

Anexo 1



1. *Eptesicus furinalis*, um insetívoro aéreo.
2. Morcego nectarívoro (provavelmente *Glossophaga soricina*) visitando flores de *Kigelia africana*, uma planta exótica ornamental.
3. *Micronycteris microtis*, morcego insetívoro catador.
4. Pequena colônia de *Micronycteris microtis* em caverna ferruginosa do Quadrilátero Ferrífero.
5. *Molossus* sp., morcego insetívoro aéreo. A família Molossidae, da qual pertence, é facilmente reconhecível pela cauda livre, lembrando uma “cauda de rato”.
6. *Sturnira lilium*, morcego frugívoro.
7. *Anoura caudifer*, morcego nectarívoro.
8. *Artibeus* cf. *fimbriatus*, morcego frugívoro.
9. *Artibeus planirostris*, morcego frugívoro.
10. *Glossophaga soricina*, morcego nectarívoro.
11. *Micronycteris microtis* em caverna ferruginosa. Esta espécie parece ter forte associação com as cavidades em ferro (Moras et al., 2014).
12. *Molossus* sp.

Anexo 1 - continuação.



13. *Molossus* sp., morcego insetívoro aéreo. A família Molossidae, da qual pertence, é facilmente reconhecível pela cauda livre, lembrando uma “cauda de rato”.
14. *Platyrrhinus lineatus*, um frugívoro. Estes morcegos são comumente encontrados em construções humanas.
15. *Sturnira lilium*, morcego frugívoro.
16. *Mollossops temminckii*, um insetívoro aéreo. A família Molossidae, da qual pertence, é facilmente reconhecível pela cauda livre, lembrando uma “cauda de rato”.
17. *Mollossops temminckii*.
18. *Mollossops temminckii*, um insetívoro aéreo. A família Molossidae, da qual pertence, é facilmente reconhecível pela cauda livre, lembrando uma “cauda de rato”.
19. *Peropteryx macrotis*, insetívoro aéreo. Os indivíduos desta espécie são típicos habitantes das cavernas brasileiras (Trajano, 1995).
20. *Peropteryx macrotis*.
21. *Phyllostomus discolor*, um insetívoro catador.
22. *Peropteryx macrotis*, insetívoro aéreo. Os indivíduos desta espécie são típicos habitantes das cavernas brasileiras (Trajano, 1995).
23. *Peropteryx macrotis*.

AVIFAUNA DAS VEGETAÇÕES ABERTAS E SEMIABERTAS ASSOCIADAS A GEOSISTEMAS FERRUGINOSOS DO BRASIL: LEVANTAMENTO, CONSERVAÇÃO E PERSPECTIVAS PARA FUTUROS ESTUDOS

Marcelo Ferreira de Vasconcelos & Diego Hoffmann

Introdução

O conhecimento sobre a avifauna das áreas representadas por geossistemas ferruginosos é bastante fragmentado e incipiente no Brasil. Neste país, três regiões apresentam importantes reservas ferríferas: o Quadrilátero Ferrífero (doravante QF), localizado na transição entre o Cerrado e a Mata Atlântica, no centro-leste de Minas Gerais; a Serra dos Carajás (CJ), localizada em domínio amazônico, no sudeste paraense; e o Maciço do Urucum (UR), situado na borda oeste do Pantanal brasileiro, em uma zona de transição com os Bosques Chiquitanos, no extremo oeste do Estado do Mato Grosso do Sul (Figura 1).

Embora estes geossistemas apresentem áreas extremamente restritas e isoladas em território nacional, os mesmos sofrem fortes pressões antrópicas, representadas especialmente pela mineração de ferro (Jacobi *et al.*, 2007), o que coloca em risco populações de diversas espécies de aves endêmicas, de distribuição restrita ou ameaçadas de extinção (Nunes, 2009; Lopes *et al.*, 2010; Vasconcelos & Rodrigues, 2010).

No QF, alguns estudos já trataram da avifauna ocorrente em campos rupestres e em outras fitofisionomias campestres e savânicas associadas aos geossistemas ferruginosos (*e.g.*, Vasconcelos *et al.*, 1999b; Vasconcelos, 2007; Vasconcelos, 2008; Ferreira *et al.*, 2009; Vasconcelos & Rodrigues, 2010; Mazzoni & Perillo, 2011; Mazzoni *et al.*, 2012). Considerando-se a região de CJ, existem duas publicações que apresentam levantamentos da avifauna, destacando-se as espécies registradas em áreas de 'canga' ou 'savana' (Pacheco *et al.*, 2007; Aleixo *et al.*, 2012), embora esta informação não tenha sido o foco principal de tais estudos. Em UR, destacam-se uma fonte histórica (Naumburg, 1930), um inventário rápido (Mauro & Campos, 2000) e algumas recentes contribuições pontuais sobre a avifauna regional (Vasconcelos *et al.*, 2008; Nunes, 2009). Entretanto, apesar da existência destas informações, elas nunca foram sintetizadas e analisadas em conjunto, visando a comparar as comunidades de aves ocorrentes nestas áreas, em regiões tão distantes umas das outras.

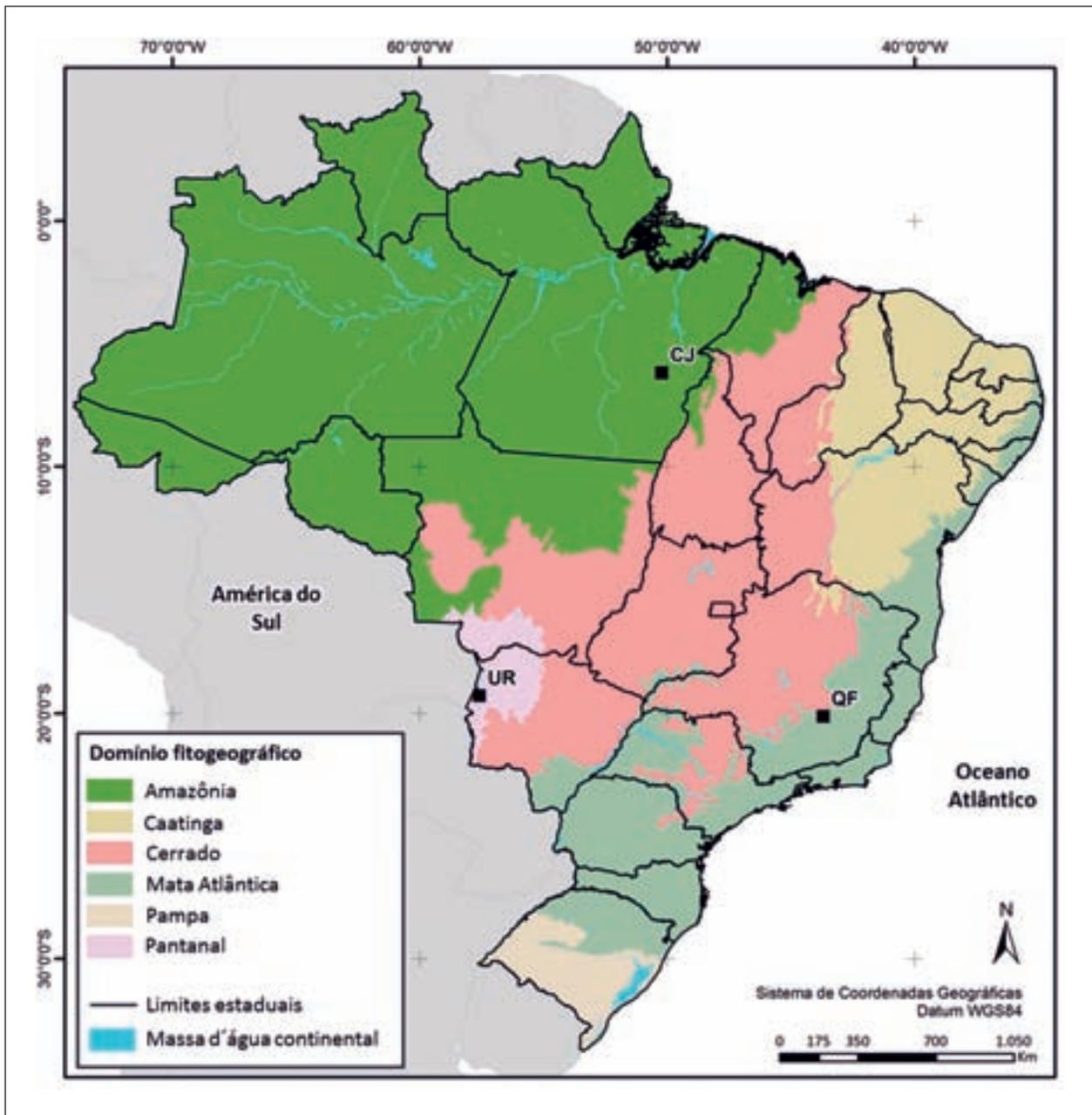


Figura 1 - Localização das três principais regiões que apresentam áreas de geossistemas ferruginosos no Brasil consideradas na presente revisão: QF = Quadrilátero Ferrífero, CJ = Serra dos Carajás e UR = Maciço do Urucum (Mapa: F. A. Valério). Adaptado de: Mapa de Biomas do Brasil (IBGE/DGC, 2004) - Escala 1:5.000.000; Mapa político do Brasil (IBGE, 2004) - Escala 1:5.000.000.

Assim, diante da forte pressão antrópica a que estas áreas estão sendo submetidas, o objetivo deste capítulo é apresentar uma compilação destes dados, a fim de avaliar a importância da avifauna destes geossistemas ferruginosos, assim como identificar possíveis lacunas de conhecimento visando à proposição de prioridades para pesquisa e conservação deste grupo faunístico.

Metodologia

Origem dos dados

A presente revisão foi baseada em levantamentos de campo efetuados pelos autores entre os anos de 1993 e 2014, totalizando 525 dias de amostragem no QF, 45 dias em UR e 25 dias em CJ, distribuídos em todas as estações do ano, associados a uma ampla revisão bibliográfica sobre a avifauna destas três principais regiões onde ocorrem geossistemas ferruginosos no Brasil (Apêndice 1). É importante ressaltar que não foram utilizadas algumas fontes que não especificaram os habitats de registro das espécies (*e.g.*, Lopes *et al.*, 2012).

Além disso, foi realizada uma detalhada checagem de exemplares coletados nestas áreas, que se encontram depositados nas seguintes coleções ornitológicas: American Museum of Natural History (AMNH), Departamento de Zoologia da Universidade Federal de Minas Gerais (DZUFMG), Museu de Biologia Mello Leitão (MBML), Museu de Ciências Naturais da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (MCNA), Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (MZUSP) e Coleção Rolf Grantsau (SG) (Apêndice 1).

Fitofisionomias consideradas

Cada uma destas três regiões apresenta peculiaridades fisiográficas que determinam os padrões de distribuição das diferentes fitofisionomias e, conseqüentemente, da avifauna associada. Por este motivo, abaixo são caracterizadas as formas fisionômicas consideradas na presente revisão.

No QF, as vegetações abertas e semiabertas que ocorrem associadas a geossistemas ferruginosos são representadas por fitofisionomias típicas de campo rupestre (sobre canga couraçada - Figura 2A) em áreas elevadas (geralmente acima de 1.000 m de altitude – ver Mourão & Stehmann, 2007; Viana & Lombardi, 2007), tais como os topos das serras do Curral, da Calçada, da Moeda, do Rola-Moça, do Capanema e da Gandarela, além das encostas da Serra da Piedade e em chapadas de canga na região de Mariana/Catas Altas/Alvinópolis. Nestas áreas, nota-se a presença marcante de espécies de canelas-de-ema (Velloziaceae), arnicas (*Lychnophora* spp.) e candeias (*Eremanthus erythropappus*). Além destes campos rupestres, diversas formas fisionômicas do Cerrado (campo limpo, campo sujo, campo cerrado, cerrado sentido restrito e cerrado rupestre) crescem sobre substrato de canga nodular (Figura 2B).

Em CJ, as fitofisionomias consideradas na presente revisão são representadas por ‘savanas metalófilas’ ocorrentes nos platôs de várias serras, onde há afloramentos ferruginosos representados por um gradiente de vegetação aberta, semelhante aos campos rupestres do QF, incluindo a presença de canelas-de-ema (*Vellozia glochidea* - Figura 3A) e orquídeas (*Sobralia liliastrum*), a ambientes semiabertos com adensamentos de arbustos, arvoretas (principalmente *Mimosa acutistipula* e *Callisthene minor*) e cactáceas (*Cereus hexagonus*) (Figura 3B) (Secco & Mesquita, 1983; Porto & Silva, 1989; Silva, 1991). Além destes ambientes, existem campos hidromórficos representados por vegetação aberta que permanece alagada durante parte do ano.



Figura 2 - A) Campo rupestre ferruginoso sobre canga couraçada em Mariana, com a presença de *Vellozia* sp. e *Eremanthus erythropappus*. Foto: A. D. Epifânio; B) fitofisionomias savânicas típicas do Cerrado, crescendo sobre canga nodular nas encostas setentrionais da Serra do Curral. Foto: M. F. Vasconcelos.



Figura 3 - A) Campo rupestre ferruginoso sobre canga couraçada na Serra dos Carajás, com a presença de *Vellozia glochidea*; B) ambiente semiaberto na Serra dos Carajás com adensamentos de *Mimosa acutistipula* e *Cereus hexagonus*. Fotos: M. F. Vasconcelos.

Na região de UR, as formas fisionômicas abertas e semiabertas associadas aos geossistemas ferruginosos são representadas por savanas gramíneo-lenhosas e arborizadas, características formas fisionômicas do Cerrado, semelhantes às do QF (de campo limpo a cerrado sentido restrito - Figura 4), que crescem sobre substrato nodular nas partes mais elevadas das morrarias, tais como o Maciço do Urucum, o Morro de São Domingos e a Morraria Tromba dos Macacos, geralmente acima de 700 m de altitude (Lehn *et al.*, 2008; Pott *et al.*, 2000). Estas vegetações têm sido erroneamente denominadas “campos de altitude” (ver Vasconcelos, 2011). Na base das morrarias, encontra-se vegetação rupestre crescendo sobre bancadas lateríticas, com a presença marcante de cactos (*Discocactus ferricola*) e bromélias saxícolas (*Deuterocohnia meziana* e *Bromelia balansae*) (Takahasi, 2010).



Figura 4 - A) Campo limpo sobre canga nodular nas partes mais elevadas do Maciço do Urucum; B) campo cerrado na mesma região. Fotos: L. N. Souza.

Espécies da avifauna consideradas

Sabe-se que várias espécies de aves florestais utilizam, esporadicamente, as vegetações abertas e semiabertas associadas aos geossistemas ferruginosos no Brasil, especialmente no QF e em CJ, onde, respectivamente, aves típicas da Mata Atlântica e da Floresta Amazônica, aproveitaram-se de recursos nestas áreas em diversas estações do ano. Além destas, espécies migratórias também passam por estas áreas, a exemplo de andorinhões no QF (Vasconcelos & Ferreira, 2001) e migrantes neárticos em CJ (Aleixo, 2011). Em CJ, lagoas e outras áreas úmidas nos platôs, especialmente na Serra Sul, servem como ponto de passagem para várias espécies migratórias (Aleixo, 2011). Entretanto, os padrões de ocorrência destas espécies nestas áreas ainda são pouco estudados ou desconhecidos. Por este motivo, optou-se por trabalhar com a avifauna *core* destas áreas (de acordo com Remsen, 1994), não se considerando espécies dependentes de ambientes florestais destes geossistemas ferruginosos, que utilizam esporadicamente os ambientes abertos e semiabertos adjacentes, tampouco migrantes neárticos (conforme Valente *et al.*, 2011) ou austrais (segundo Chesser, 1994). Também não foram consideradas espécies aquáticas que vivem em lagoas destas áreas, já que a maioria delas é nômade (Sick, 1997). Entretanto, no caso de migrantes austrais, com base no conhecimento de campo dos autores, foram consideradas algumas espécies representadas por populações residentes nas regiões abrangidas por este trabalho.

Análise de agrupamento das áreas consideradas

Com base na compilação das listas de avifauna para cada região, foi elaborada uma matriz de presença e ausência, utilizada na análise de agrupamento (*cluster*), utilizando-se o método de agrupamento UPGMA e o coeficiente de Sørensen (Dice). A análise foi realizada com uso do software PAST[®] (Hammer *et al.*, 2001).

Classificação e categorização da avifauna

Os nomes científicos e a ordem taxonômica seguem a última revisão do Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos (CBRO, 2014). As espécies endêmicas do Cerrado foram consideradas de acordo com Silva (1995), e as dos topos de montanha do leste brasileiro foram baseadas em Vasconcelos (2008). O grau de sensibilidade das espécies a distúrbios antrópicos baseou-se em Stotz *et al.* (1996).

As espécies ameaçadas de extinção foram consideradas em níveis global (IUCN, 2013) e nacional (IBAMA, 2003; Machado *et al.*, 2005). No caso de QF e CJ, também foram consultadas as listas estaduais de táxons ameaçados de Minas Gerais (COPAM, 2010) e do Pará (SECTAM, 2006), respectivamente.

Resultados e Discussão

Padrões de riqueza e composição da avifauna

Foi encontrado um total de 166 espécies que representam a comunidade *core* da avifauna das vegetações abertas e semiabertas associadas aos geossistemas ferruginosos nas três áreas levantadas (Apêndice 2). Apesar de QF e CJ apresentarem maiores riquezas (99 e 94 espécies, respectivamente) em relação a UR (81 espécies), considera-se que as riquezas destas três áreas sejam relativamente próximas, sendo possível que maiores esforços de levantamento, especialmente em UR, aumentem estes valores.

Considerando-se a composição de espécies das três áreas, QF e UR mostraram maior similaridade entre si em relação à CJ (Figura 5). A maior similaridade encontrada entre as avifaunas de QF e UR está relacionada ao fato de estas áreas compartilharem espécies características ou endêmicas do Cerrado, tais como *Saltatricula atricollis* (Figura 6A), *Porphyrospiza caerulescens* (Figura 6B) e *Piranga flava*. Espécies típicas e/ou endêmicas do Cerrado que ocorrem no QF, mas que ainda não foram registradas em UR, são: *Micropygia schomburgkii*, *Eupsittula aurea*, *Melanopareia torquata*, *Cypsnagra hirundinacea*, *Neothraupis fasciata* e *Poospiza cinerea*. Por outro lado, *Formicivora rufa* (Figura 6C), espécie típica das formações savânicas do Cerrado, embora não endêmica, apresenta registros exclusivos de UR. A ocorrência destas espécies nestas regiões está relacionada à influência do Cerrado no QF (especialmente nas vertentes interioranas das serras – ver Figura 1), assim como em UR, localizado na região pantaneiro-chiquitana, mas não distante de manchas de cerrados da Serra da Bodoquena (Pivatto *et al.*, 2006) e de várias serranias bolivianas adjacentes (Parker *et al.*, 1993).

Além destas, apenas no QF ocorrem três espécies endêmicas dos topos de montanha do leste brasileiro: *Augastes scutatus* (Figura 6D), *Polystictus superciliaris* (Figura 6E) e *Embernagra longicauda* (Figura 6F). Estas três espécies estão, na região, intimamente relacionadas aos campos rupestres sobre canga. Outras espécies ocorrentes nestes habitats do QF que apresentam distribuição fortemente relacionada a regiões serranas do leste brasileiro, embora não endêmicas, são *Hydropsalis longirostris* (Figura 6G), *Knipolegus nigerrimus* e *Anthus hellmayri* (Figura 6H).

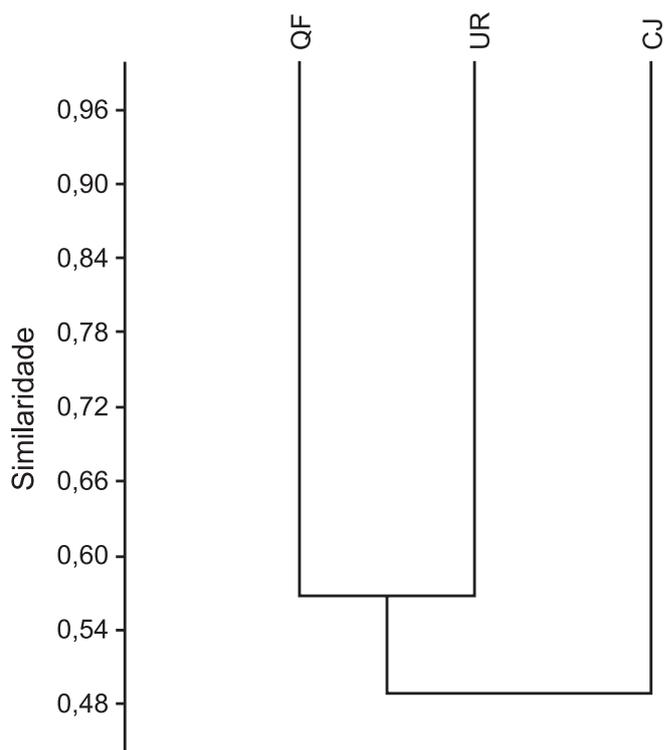


Figura 5 - Dendrograma mostrando a similaridade da avifauna entre as três regiões que apresentam áreas de geossistemas ferruginosos no Brasil, consideradas na presente revisão: CJ = Serra dos Carajás, QF = Quadrilátero Ferrífero e UR = Maciço do Urucum.

Em UR, além das espécies típicas do Cerrado que ocorrem nas áreas de savanas das partes mais elevadas das morrarias, nas bancadas lateríticas localizadas em suas bases encontram-se, em esparsos aglomerados de arbustos, aves típicas de bordas florestais dos adjacentes Bosques Chiquitanos, a exemplo de *Myrmorchilus strigilatus*, *Hemitriccus margaritaceiventer* e *Euscarthmus meloryphus*.

Por outro lado, em CJ, as vegetações abertas e semiabertas estão distribuídas como um “arquipélago” em meio a um “mar” de selvas, em pleno domínio amazônico, onde não foram registradas espécies endêmicas do Cerrado. Contudo, várias espécies de aves destas áreas em CJ também são encontradas nas formações abertas do Cerrado, a exemplo de: *Crypturellus parvirostris*, *Rhynchotus rufescens*, *Geranoaetus albicaudatus*, *Hydropsalis torquata*, *Colibri serrirostris*, *Melanerpes candidus*, *Colaptes campestris*, *Thamnophilus torquatus*, *Lepidocolaptes angustirostris*, *Synallaxis albescens*, *Elaenia cristata*, *Phaeomyias murina*, *Mimus saturninus* e *Zonotrichia capensis*. Além disso, CJ destaca-se por abrigar espécies de aves típicas da Caatinga, que, na região, vivem associadas às vegetações semiabertas, a exemplo daquelas com predominância de *Mimosa acutistipula* e *Cereus hexagonus*, com fisionomia muito semelhante a algumas formações daquele domínio fitogeográfico. Este tipo de fitofisionomia não é encontrado em QF e UR, explicando, também, a maior dissimilaridade de CJ em relação a estas áreas. Exemplos de aves que vivem nestas fitofisionomias semiabertas em CJ são: *Veniliornis passerinus*, *Formicivora grisea*, *Synallaxis frontalis*, *S. scutata*, *Tolmomyias flaviventris*, *Todirostrum cinereum*, *Hemitriccus margaritaceiventer*, *Euscarthmus meloryphus*, *Myiophobus fasciatus*, *Cyanocorax cyanopogon*, *Polioptila plumbea* e *Myiothlypis flaveola*.



Figura 6 - Espécies de aves registradas nas vegetações abertas e semiabertas associadas a geossistemas ferruginosos do Brasil. A) *Saltatricula atricollis* no Maciço do Urucum. Foto: L. N. Souza; B) *Porphyrospiza caerulea* no Maciço do Urucum. Foto: D. Hoffmann; C) *Formicivora rufa* no Maciço do Urucum. Foto: D. Hoffmann; D) *Augastes scutatus* na Serra do Rola-Moça. Foto: D. Hoffmann; E) *Polystictus superciliaris* na Serra do Rola-Moça. Foto: D. Hoffmann; F) *Embernagra longicauda* na Serra do Rola-Moça. Foto: D. Hoffmann; G) *Hydropsalis longirostris* na Serra do Rola-Moça. Foto: D. Hoffmann; H) *Anthus hellmayri* na Serra da Moeda. Foto: L. N. Souza.

Conservação

No que concerne à conservação da avifauna, o QF é a única das três áreas onde foram registradas espécies ameaçadas de extinção ($n = 6$) em âmbitos global, nacional e estadual (Apêndice 2). Estas espécies são associadas a áreas campestres, estando localmente ameaçadas pelas atividades de expansão urbana e mineração (Lopes *et al.*, 2010). Neste aspecto, embora as atividades de mineração representem uma importante ameaça à avifauna das três áreas, no QF as pressões antrópicas relativas à especulação imobiliária associada à implantação de diversos condomínios de luxo em áreas anteriormente ocupadas por fitofisionomias campestres, também contribuem para a redução e a degradação destas áreas naturais, tornando cada vez mais ameaçada a avifauna restrita a este frágil tipo de habitat (Lopes *et al.*, 2010) (Figura 7). No QF, contribuem também para aumentar o risco de extinção destas espécies, as atividades de lazer realizadas por motociclistas e veículos *off-road*, que, ao longo de poucos anos, causaram severos processos erosivos nas serras (Lopes *et al.*, 2010) (Figura 7). Além disso, a pavimentação de estradas, associada ao aumento do fluxo de veículos em alta velocidade, também provoca atropelamentos da avifauna nativa, algumas vezes afetando espécies ameaçadas, tal como constatado por Lopes *et al.* (2010).



Figura 7 - Rápida expansão de empreendimentos imobiliários em áreas de campos nativos no Quadrilátero Ferrífero, a partir de vista parcial da crista da Serra do Curral, Nova Lima, Minas Gerais. A) paisagem em 1996; B) mesma região em 2014. Nota-se, também, a degradação da crista de morros por erosão devido às atividades de lazer realizadas por motociclistas. Fotos: M. F. Vasconcelos.

Além disso, dentre as três regiões consideradas na presente revisão, QF é a única que abriga espécies de aves com alta sensibilidade a distúrbios humanos, além de apresentar uma proporção mais elevada de espécies de média sensibilidade em relação a CJ e UR (Figura 8).

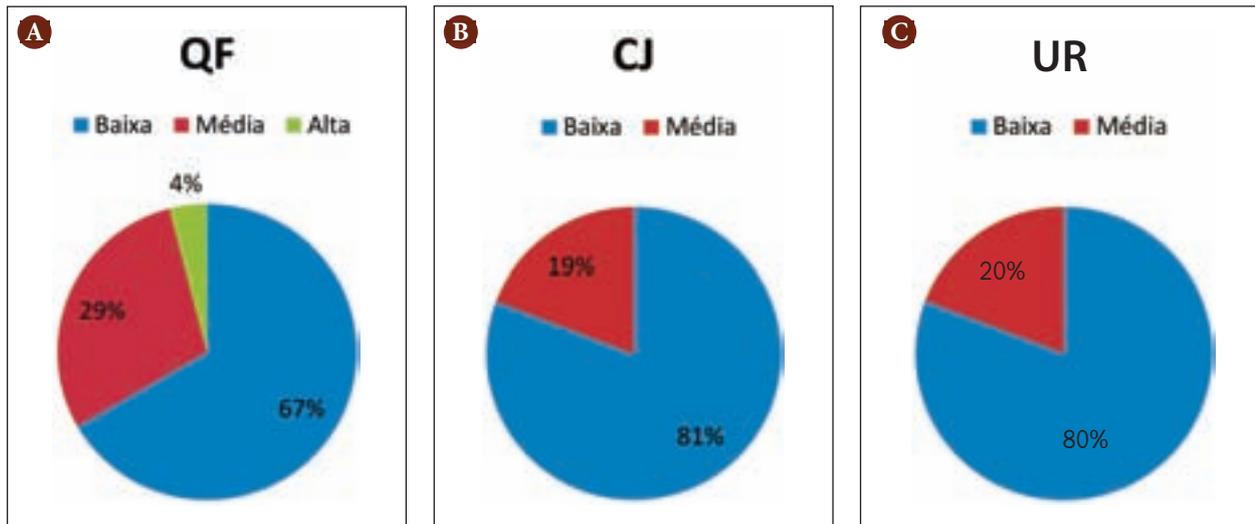


Figura 8 - Porcentagem das espécies da avifauna de alta, média ou baixa sensibilidade a distúrbios de origem antrópica nas três regiões que apresentam áreas de geossistemas ferruginosos no Brasil, consideradas na presente revisão: A) QF = Quadrilátero Ferrífero; B) CJ = Serra dos Carajás; C) UR = Maciço do Urucum.

Lacunas do conhecimento

Taxonomia, variação geográfica e filogeografia

Embora, até o momento, não seja conhecida nenhuma espécie de ave endêmica destas vegetações abertas e semiabertas associadas aos geossistemas ferruginosos do Brasil, duas subespécies de CJ foram reconhecidas como novos táxons destas fitofisionomias associadas à canga: *Synallaxis scutata teretiala* (Figura 9A) e *Zonotrichia capensis novaesi* (Figura 9B). Ambas foram descritas por Oren (1985) a partir dos primeiros esforços de levantamento da avifauna de CJ. Posteriormente, Teixeira & Luigi (1993), em uma revisão taxonômica de *S. s. teretiala*, consideraram-na como sinônimo-júnior da forma nominal desta espécie. Além disso, a subespécie *Z. c. novaesi* é também reportada para a Serra do Cachimbo, no Pará, não estando restrita a CJ (Oren, 1985). Entretanto, a revisão apresentada por Teixeira & Luigi (1993), que sinonimizou *S. s. teretiala*, considerou poucos caracteres de medidas morfométricas (da asa) e de coloração das partes inferiores, sendo baseada na análise de apenas três exemplares da forma da canga, que representavam o número total de espécimes deste táxon disponível para pesquisas. Assim, no caso específico de CJ, é muito possível que todas ou quase todas as espécies características do Cerrado e da Caatinga, que se encontram ilhadas pela selva nos topos dos platôs cobertos por vegetações abertas e semiabertas, apresentem diferenciações genéticas, morfológicas e/ou vocais em relação às populações ocorrentes nestes domínios fitogeográficos mais distantes. Entretanto, o escasso material ainda existente em coleções científicas (peles, esqueletos, tecidos e gravações) não possibilita a realização de análises taxonômicas e filogeográficas. Assim, é emergencial a



Figura 9 - Subespécies de aves descritas das cangas da Serra dos Carajás. A) *Synallaxis scutata teretiala*. Foto: L. G. Mazzoni; B) *Zonotrichia capensis novaesi*. Foto: M. F. Vasconcelos.

formação de boas coleções de referência de espécimes e de tecidos das espécies de aves associadas a estas fitofisionomias em CJ, a fim de diagnosticar possíveis novos táxons. A gravação de vocalizações para estudos bioacústicos que possam subsidiar estas pesquisas também é de alta relevância. Recentemente, foram descritas 15 novas espécies de aves da Amazônia e a maioria delas apresenta fraca (ou nenhuma) diagnose morfológica (del Hoyo *et al.*, 2013), demonstrando a necessidade de estudos que envolvam caracteres vocais e moleculares para revelar a biodiversidade críptica ainda desconhecida. O reconhecimento destas populações como novos táxons endêmicos destas áreas reforçaria a necessidade da adoção de programas e estudos específicos voltados à conservação das mesmas.

Uma perspectiva semelhante à de CJ também seria aplicável à região de UR, onde populações de espécies típicas do Cerrado encontram-se isoladas nos topos das morrarias pela vastidão pantaneiro-chiquitana.

No QF, estudos filogeográficos envolvendo as espécies que vivem nos campos rupestres sobre canga, com ocorrência mais ao norte, em campos rupestres sobre quartzito (Serra do Espinhaço), seriam de interesse para testar possíveis padrões de diferenciação entre estas áreas. Bons exemplos a serem testados são: *Augastes scutatus*, *Polystictus superciliaris* e *Embernagra longicauda*.

Ainda no QF, estudos filogeográficos das espécies campestres ameaçadas de extinção, ou mais restritivas quanto ao habitat de campos nativos, também são altamente relevantes para testar possíveis conexões ou isolamentos das populações ocorrentes nesta região e mais ao sul, nos Campos das Vertentes e nas porções interioranas da Serra da Mantiqueira (ver Pacheco *et al.*, 2008; Lopes *et al.*, 2010). Espécies candidatas a estes estudos são *Culicivora caudacuta*, *Cistothorus platensis*, *Anthus nattereri*, *A. hellmayri*, *Donacospiza albifrons* e *Coryphaspiza melanotis*.

Biogeografia de ilhas

Em especial na região de UR, um estudo enfocando biogeografia de ilhas com base na composição das avifaunas isoladas nas áreas de savana no alto das morrarias brasileiras e adjacentes serranias bolivianas também seria de grande interesse para entender os padrões de distribuição das espécies nestas áreas, tendo o Cerrado do Brasil Central como o “continente” e as morrarias como “ilhas” de diferentes tamanhos a diferentes distâncias do mesmo.

Estudo comparativo das guildas da avifauna

Ainda não foi realizada nenhuma comparação da estrutura das guildas da avifauna entre as três regiões (QF, CJ e UR), sendo de interesse um estudo semelhante a outros já efetuados em regiões montanhosas (Dorst & Vuilleumier, 1986; Willis & Schuchmann, 1993). É possível que, mesmo com composições distintas, as avifaunas das três regiões representadas por geossistemas ferruginosos apresentem substitutos ecológicos que ocupem nichos semelhantes. Um exemplo seria o dos bacuraus *Hydropsalis nigrescens* e *H. longirostris*. O primeiro ocorre em CJ e o segundo em QF, mas ambos são insetívoros noturnos associados a lajedos (Sick, 1997; Jackson & Ingels, 2010).

Aves migratórias

Conforme apresentado, esta revisão tratou apenas da avifauna *core* ocorrente nas áreas de vegetações abertas e semiabertas associadas aos geossistemas ferruginosos do Brasil. No entanto, sabe-se que várias espécies migratórias passam por estas áreas em determinadas estações do ano, especialmente em CJ, onde lagoas e outras áreas úmidas representam um importante ponto de passagem para migrantes neárticos (Aleixo, 2011). Assim, a implantação de programas de estudo e monitoramento destas espécies nestas áreas seria de alta relevância para o conhecimento básico destes padrões de ocorrência.

Avifauna florestal

As comunidades de aves que vivem em trechos florestais associados a geossistemas ferruginosos do Brasil ainda carecem de levantamentos detalhados. Sabe-se, por exemplo, que estas fitofisionomias abrigam diversas espécies de aves dependentes de florestas, incluindo algumas endêmicas da Mata Atlântica no QF (e.g., *Leucochloris albicollis*, *Formicivora serrana*, *Mackenziaena leachii*, *Anabazenops fuscus*, *Neopelma chrysolophum*, *Hemitriccus nidipendulus*, *Myiothlypis leucoblephara* e *Sporophila frontalis*), da Amazônia em CJ (e.g., *Pyrrhura amazonum*, *Myrmotherula brachyura*, *Hypocnemis striata*, *Hylexetastes brigidaei* e *Cotinga cayana*) e espécies que ocorrem localmente de maneira mais restrita, nas partes mais elevadas das morrarias em UR (e.g., *Momotus momota*, *Pyriglena leuconota*, *Xiphorhynchus guttatus*, *Pipra fasciicauda* e *Basileuterus hypoleucus*). Entretanto, não se sabe se todas estas espécies são residentes nestes trechos florestais ou se apenas

utilizam-se de alguns recursos nestas áreas durante algumas estações do ano. Assim, diante deste desconhecimento, estudos pormenorizados destas comunidades florestais, que contemplem a sazonalidade, são extremamente importantes.

Serviços ambientais

Até o momento, quase nada se estudou sobre os serviços ambientais prestados pela avifauna em vegetações associadas a geossistemas ferruginosos no Brasil. Sabe-se que as aves atuam como importantes polinizadores e dispersores de sementes, mas estes estudos ainda são muito escassos e restritos ao QF (Vasconcelos & Lombardi, 1999; Vasconcelos & Lombardi, 2001; Guerra & Marini, 2002; Jacobi & Antonini, 2008; Mourão 2011) e à CJ (Leite & Barreiros, 2014). Diante da rápida degradação destas áreas, há a urgente necessidade de ampliar o conhecimento sobre estas interações, especialmente visando à futura recuperação de áreas degradadas pela mineração.

Políticas públicas de tutela, uso e ocupação

Diante do escasso conhecimento sobre a avifauna das vegetações associadas a geossistemas ferruginosos do Brasil, sugere-se, prioritariamente, o incentivo ao financiamento de pesquisas que visem a preencher as lacunas de conhecimento apontadas no item acima. Apenas com base no conhecimento taxonômico, filogeográfico, de distribuição (espacial e sazonal) da avifauna e de suas interações com outros organismos, será viável o planejamento de estratégias para sua conservação.

Estes editais também devem incentivar a formação de importantes coleções taxonômicas destas áreas, pois, atualmente, o acervo de material disponível para estudo (espécimes, tecidos e gravações de vocalizações) ainda não é suficiente para a realização de boas pesquisas taxonômicas e filogeográficas. Paradoxalmente, os órgãos ambientais que licenciam a supressão de vegetações associadas a geossistemas ferruginosos para fins minerários, raramente permitem a coleta de material testemunho para coleções científicas durante estudos de inventário e monitoramento de fauna, material que poderia subsidiar estas pesquisas e identificar táxons crípticos e endêmicos (especialmente em CJ), que poderão ser extintos antes mesmo de serem diagnosticados como entidades evolutivas independentes.

Entretanto, independente da realização destas pesquisas, seria muito importante que uma porção representativa de vegetações associadas a geossistemas ferruginosos fosse protegida em forma de Unidades de Conservação de Proteção Integral, visando à preservação futura de populações, comunidades e processos ecológicos de cada uma destas três regiões. No caso específico do QF, onde a pressão antrópica não se restringe apenas às atividades minerárias, e onde ocorrem espécies de aves campestres ameaçadas de extinção, os órgãos responsáveis pelo licenciamento ambiental devem ser mais restritivos com relação à implantação e à expansão de condomínios de luxo que, em breve, dominarão as paisagens desta região, disputando território com as companhias mineradoras.

Agradecimentos

Agradecemos a F. A. Valério pela preparação do mapa, e aos colegas que cederam fotografias de aves e paisagens que ilustram este capítulo: A. D. Epifânio, L. G. Mazzoni e L. N. Souza. Os Profs. L. F. Silveira e S. D'Angelo Neto fizeram importantes revisões ao manuscrito original.

Referências Bibliográficas

- Aleixo, A. 2011. Carajás. In: Valente, R.M.; Silva, J.M.C.; Straube, F.C.; Nascimento, J.L.X. *Conservação de aves migratórias neárticas no Brasil*. Belém: Conservação Internacional. p. 96-99.
- Aleixo, A.; Carneiro, L.N. & Dantas, S.M. 2012. Aves. In: Martins, F.D.; Castilho, A.F.; Campos, J.; Hatano, F.M.; Rolim, S.G. *Fauna da Floresta Nacional de Carajás – estudos sobre vertebrados terrestres*. São Paulo: Nitro Imagens. p. 102-143.
- Chesser, R.T. 1994. Migration in South America: an overview of the austral system. *Bird Conservation International*, 4(2-3): 91-107.
- Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos – CBRO. 2014. *Listas das aves do Brasil – 11ª edição – 01/01/2014*. Disponível em: <http://www.cbro.com.br> Acesso em: 10 jan. 2014.
- COPAM. 2010. *Deliberação Normativa COPAM Nº 147, de 30 de abril de 2010. Aprova a lista de espécies ameaçadas de extinção da fauna do Estado de Minas Gerais*. Publicação - Diário do Executivo - “Minas Gerais” - 04/05/2010. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=13192> Acesso em: 1 mar. 2014.
- del Hoyo, J.; Elliott A.; Sargatal, J. & Christie D.A. 2013. *Handbook of the birds of the world, special volume: new species and global index*. Barcelona: Lynx Edicions. 812p.
- Dorst, J. & Vuilleumier, F. 1986. Convergences in bird communities at high altitude in the tropics (especially the Andes and Africa) and at temperate latitudes (Tibet). In: Vuilleumier, F.; Monasterio, M. *High altitude tropical biogeography*. New York: Oxford University Press. p. 120-149.
- Ferreira, J.D.; Costa, L.M. & Rodrigues, M. 2009. Aves de um remanescente florestal do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Biota Neotropica*, 9(3): 39-54.
- Grantsau, R. 1967. Sobre o gênero *Augastes* com a descrição de uma subespécie nova (Aves, Trochilidae). *Papéis Avulsos de Zoologia São Paulo*, 21: 21-31.
- Grantsau, R. 1968. Die wiederentdeckung der brasilianischen kolibris *Augastes scutatus* und *Augastes lumachellus*. *Journal für Ornithologie*, 109(4): 434-437.
- Guerra, T.J. & Marini, M.Â. 2002. Bird frugivory on *Struthanthus concinnus* (Loranthaceae) in southeastern Brazil. *Ararajuba*, 10(2): 187-192.
- Hammer, Ø.; Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. 2001. *PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis*. Disponível em: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm Acesso em: 15 nov. 2013.

- Hoffmann, D. & Rodrigues, M. 2011. Breeding biology and reproductive success of *Polystictus superciliaris* (Aves: Tyrannidae), an uncommon tyrant-flycatcher endemic to the highlands of eastern Brazil. *Zoologia*, 28(3): 305-311.
- Hoffmann, D.; Epifânio, A.D. & Vasconcelos, M.F. 2010. Nesting of Band-winged Nightjar *Caprimulgus l. longirostris* in eastern Brazil, including the first description of chicks. *Cotinga*, 32: 142-145.
- Hoffmann, D.; Gomes, H.B. & Guerra, T. 2009a. Biologia reprodutiva de *Elaenia cristata* Pelzeln, 1868 (Passeriformes: Tyrannidae) em duas áreas de campos rupestres de Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Ornitologia*, 17(2): 102-106.
- Hoffmann, D.; Lopes, L.E. & Vasconcelos, M.F. 2009b. Natural history notes on the Pale-throated Serra-finch (*Embernagra longicauda*) in eastern Brazil. *Ornitologia Neotropical*, 20(4): 597-607.
- Hoffmann, D.; Vasconcelos, M.F.; Lopes, L.E. & Rodrigues, M. 2007. Comportamento de forrageamento e dieta de *Polystictus superciliaris* (Aves, Tyrannidae) no sudeste do Brasil. *Iheringia, Série Zoologia*, 97(3): 296-300.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. 2003. *Lista das espécies da fauna ameaçada de extinção. Instrução Normativa nº 3, de 27 de maio de 2003*. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) / Ministério do Meio Ambiente.
- IUCN. 2013. *IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.2*. Disponível em: www.iucnredlist.org. Acesso em: 3 jun. 2014.
- Jackson, H.D. & Ingels, J. 2010. Comparison of the two rupicolous nightjars: the Afrotropical Freckled Nightjar *Caprimulgus tristigma* and the Neotropical Blackish Nightjar *C. nigrescens*. *Ostrich*, 81(2): 145-148.
- Jacobi, C.M. & Antonini, Y. 2008. Pollinators and defense of *Stachytarpheta glabra* (Verbenaceae) nectar resources by the hummingbird *Colibri serrirostris* (Trochilidae) on ironstone outcrops in south-east Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 24(3): 301-308.
- Jacobi, C.M.; Carmo, F.F.; Vincent, R.C. & Stehmann, J.R. 2007. Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 16: 2185-2200.
- Lehn, C.R.; Alves, F.M. & Damasceno-Junior, G.A. 2008. Florística e fitossociologia de uma área de cerrado *sensu stricto* na região da borda oeste do Pantanal, Corumbá, MS, Brasil. *Pesquisas, Botânica*, 59: 129-142.
- Leite, G.A. & Barreiros, M.H.M. 2014. Frugivoria em *Byrsonima crispera* A. Juss (Malpighiaceae), em área de recuperação na Floresta Nacional de Carajás, Pará. *Atualidades Ornitológicas*, 176: 9-11.
- Lencioni-Neto, F. 1996. A new subspecies of *Knipolegus* from Estado da Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Biologia*, 56: 197-201.
- Lopes, L.E. 2012. Notas sobre a campainha-azul *Porphyrospiza caerulescens*. *Atualidades Ornitológicas Online*, 167: 57-68.
- Lopes, L.E. & Vasconcelos, M.F. 2011. On the wide occurrence of the Hellmayr's Pipit *Anthus hellmayri* in the Espinhaço Range, southeastern Brazil, with comments on its natural history. *Interciencia*, 36(10): 743-745.

Lopes, L.E.; Malacco, G.B.; Alteff, E.F.; Vasconcelos, M.F.; Hoffmann, D. & Silveira, L.F. 2010. Range extensions and conservation of some threatened or little known Brazilian grassland birds. *Bird Conservation International*, 20(1): 84-94.

Lopes, L.E.; Peixoto, H.J.C. & Hoffmann, D. 2013. Notas sobre a biologia reprodutiva de aves brasileiras. *Atualidades Ornitológicas On-line*, 171: 33-49.

Lopes, L.E.; Peixoto, H.J.C. & Nogueira, W. 2012. Aves da Serra Azul, sul da Cadeia do Espinhaço, Minas Gerais, Brasil. *Atualidades Ornitológicas On-line*, 169: 41-53.

Machado, A.B.M.; Martins, C.S. & Drummond, G.M. 2005. *Lista da fauna brasileira ameaçada de extinção, incluindo as listas de espécies quase ameaçadas e deficientes em dados*. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas. 157p.

Machado, R.B.; Rigueira, S.E. & Lins, L.V. 1998. Expansão geográfica do canário-rabudo (*Embernagra longicauda* - Aves, Emberizidae) em Minas Gerais. *Ararajuba*, 6(1): 42-45.

Mattos, G.T. & Sick, H. 1985. Sobre a distribuição e a ecologia de duas espécies crípticas: *Embernagra longicauda* Strickland, 1844, e *Embernagra platensis* (Gmelin, 1789). Emberizidae, Aves. *Revista Brasileira de Biologia*, 45(3): 201-206.

Mauro, R.A. & Campos, Z. 2000. Fauna. In: Silva, J.S.V. *Zoneamento ambiental da borda Oeste do Pantanal: Maciço do Urucum e adjacências*. Brasília: Embrapa. p. 133-151.

Mazzoni, L.G. & Perillo, A. 2011. Range extension of *Anthus nattereri* Sclater, 1878 (Aves: Motacillidae) in Minas Gerais, southeastern Brazil. *Check List*, 7(5): 589-591.

Mazzoni, L.G.; Perillo, A.; Malacco, G.B.; Almeida, T.O.; Peixoto, H.J.C.; Souza, T.O.; Dutra, E.C. & França, E.A. 2012. Aves, *Micropygia schomburgkii* (Schomburgk, 1848), *Veniliornis mixtus* (Boddaert, 1783), *Culicivora caudacuta* (Vieillot, 1818) and *Coryphaspiza melanotis* (Temminck, 1822): documented records in the southern Espinhaço Range, Minas Gerais, Brazil. *Check List*, 8(1): 138-142.

Mourão, A. & Stehmann, J.R. 2007. Levantamento da flora do campo rupestre sobre canga hematítica couraçada remanescente na Mina do Brucutu, Barão de Cocais, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia*, 58 (4): 775-786.

Mourão, F.A. 2011. *Dinâmica do forrageamento da hemiparasita Struthanthus flexicaulis Mart. (Loranthaceae) e sua influência na estrutura da comunidade vegetal de campos rupestres ferruginosos - MG*. Tese de Doutorado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Biológicas. 104 p.

Naumburg, E.M.B. 1930. The birds of Mato Grosso, Brazil. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 60: 1-432.

Nunes, A.P. 2009. Campainha-azul (*Porphyrospiza caerulescens*) (Passeriformes: Emberizidae) na bacia do Alto Paraguai: distribuição e conservação. *Atualidades Ornitológicas*, 152: 5-7.

Oren, D.C. 1985. Two new subspecies of birds from the canga vegetation, Serra dos Carajás, Pará, Brazil, and one from Venezuela. *Publicações Avulsas do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 40: 93-100.

- Pacheco, J.F.; Kirwan, G.M.; Aleixo, A.; Whitney, B.M.; Whittaker, A.; Minns, J.; Zimmer, K.J.; Fonseca, P.S.M.; Lima, M.F.C. & Oren, D.C. 2007. An avifaunal inventory of the CVRD Serra dos Carajás project, Pará, Brazil. *Cotinga*, 27: 15-30.
- Pacheco, J.F.; Parrini, R.; Lopes, L.E. & Vasconcelos, M.F. 2008. A avifauna do Parque Estadual do Ibitipoca e áreas adjacentes, Minas Gerais, Brasil, com uma revisão crítica dos registros prévios e comentários sobre biogeografia e conservação. *Cotinga*, 30: 16-32.
- Parker, T.A.; Gentry, A.H.; Foster, R.B.; Emmons, L.H. & Remsen, J.V. 1993. *The lowland dry forests of Santa Cruz, Bolivia: a global conservation priority*. Washington: Conservation International. 104 p.
- Pinto, O.M.O. 1952. Súmula histórica e sistemática da ornitologia de Minas-Gerais. *Arquivos de Zoologia São Paulo*, 8: 1-51.
- Pivatto, M.A.C.; Manço, D.D.G.; Straube, F.C.; Urben-Filho, A. & Milano, M. 2006. Aves do Planalto da Bodoquena, estado do Mato Grosso do Sul (Brasil). *Atualidades Ornitológicas*, 129. Disponível em: <http://www.ao.com.br/download/bodoquen.pdf> Acesso em: 14 ago. 2014.
- Porto, M.L. & Silva, M.F.F. 1989. Tipos de vegetação metalófila em áreas da Serra de Carajás e de Minas Gerais. *Acta Botanica Brasilica*, 3(2): 13-21.
- Pott, A.; Silva, J.S.V.; Salis, S.M.; Pott, V.J. & Silva, M.P. 2000. Vegetação e uso da terra. In: Silva, J.S.V. *Zoneamento ambiental da borda Oeste do Pantanal: Maciço do Urucum e adjacências*. Brasília: Embrapa. p. 111-131.
- Remsen, Jr., J.V. 1994. Use and misuse of bird lists in community ecology and conservation. *The Auk*, 111(1): 225-227.
- Ruschi, A. 1962. Algumas observações sobre *Augastes lumachellus* (Lesson) e *Augastes scutatus* (Temminck). *Boletim do Museu de Biologia Prof. Mello Leitão, Série Biologia*, 31: 1-23.
- Ruschi, A. 1963a. Notes on Trochilidae: the genus *Augastes*. *Proceedings of International Ornithological Congress*, 13: 141-146.
- Ruschi, A. 1963b. A atual distribuição geográfica das espécies e subespécies do gênero *Augastes*, com a descrição de uma nova subespécie: *Augastes scutatus soaresi* Ruschi e a chave artificial e analítica para o reconhecimento das mesmas. *Boletim do Museu de Biologia Prof. Mello Leitão, Série Divulgação*, 4:1-4.
- Ruschi, A. 1982. *Aves do Brasil, volume 5, Beija-flores*. Rio de Janeiro: Expressão e Cultura. 452 p.
- Salvadori, T. 1900. Viaggio Del Dr. A. Borelli nel Mato Grosso e nel Paraguai. V. Uccelli. *Bollettino dei Musei di Zoologia ed Anatomia Comparata della Reale Università di Torino*, 15: 1-19.
- Secco, R.S. & Mesquita, A.L. 1983. Nota sobre a vegetação de canga da Serra Norte. I. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Botânica*, 59: 1-13.
- SECTAM. 2006. *Relação das espécies ameaçadas do estado do Pará*. Disponível em: www.sectam.pa.gov.br Acesso em: 2 set. 2006.
- Sick, H. 1997. *Ornitologia Brasileira*. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira. 862p.
- Silva, J.M.C. 1995. Birds of the Cerrado region, South America. *Steenstrupia*, 21(1): 69-92.

Silva, M.F.F. 1991. Análise florística da vegetação que se cresce sobre canga hematítica em Carajás – PA (Brasil). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Botânica*, 7: 79-108.

Stotz, D.F.; Fitzpatrick, J.W.; Parker III, T.A. & Moskovits, D.K. 1996. *Neotropical birds: ecology and conservation*. Chicago: University of Chicago Press. 502 p.

Takahasi, A. 2010. *Ecologia da vegetação em bancadas lateríticas em Corumbá, MS*. 255p. Tese de Doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo.

Teixeira, D.M. & Luigi, G. 1993. Notas sobre *Poecilurus scutatus* (Sclater, 1859) (Aves, Furnariidae). *Iheringia, Série Zoologia*, 74: 117-124.

Valente, R.M.; Silva, J.M.C.; Straube, F.C. & Nascimento, J.L.X. 2011. *Conservação de aves migratórias neárticas no Brasil*. Belém: Conservação Internacional. 400 p.

Vasconcelos, M.F. 1997. Nidificações do urubu-de-cabeça-preta (*Coragyps atratus*) em um fosso profundo como uma provável defesa contra incêndios. *Bios*, 5(5): 61-64.

Vasconcelos, M.F. 1999. Natural history notes and conservation of two species endemic to the Espinhaço Range, Brazil: Hyacinth Visorbearer *Augastes scutatus* and Grey-backed Tachuri *Polystictus superciliaris*. *Cotinga*, 11: 75-78.

Vasconcelos, M.F. 2001. Pale-throated Serra-finch *Embernagra longicauda*. *Cotinga*, 16: 110-112.

Vasconcelos, M.F. 2007. Aves observadas no Parque Paredão da Serra do Curral, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. *Atualidades Ornitológicas*, 136: 6-11.

Vasconcelos, M.F. 2008. Mountaintop endemism in eastern Brazil: why some bird species from campos rupestres of the Espinhaço Range are not endemic to the Cerrado region? *Revista Brasileira de Ornitologia*, 16(4): 348-362.

Vasconcelos, M.F. 2011. O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do leste do Brasil? *Revista Brasileira de Botânica*, 34 (2): 241-246.

Vasconcelos, M.F. & Ferreira, J.C. 2001. Sazonalidade e reprodução do andorinhão-de-coleira-falha (*Streptoprocne biscutata*) no Pico do Inficionado, Serra do Caraça, Minas Gerais, Brasil. *Tangara*, 1(2): 74-84.

Vasconcelos, M.F. & Lombardi, J.A. 1996. Primeira descrição do ninho e do ovo de *Polystictus superciliaris* (Passeriformes: Tyrannidae) ocorrente na Serra do Curral, Minas Gerais. *Ararajuba*, 4(2): 114-116.

Vasconcelos, M.F. & Lombardi, J.A. 1999. Padrão sazonal na ocorrência de seis espécies de beija-flores (Apodiformes: Trochilidae) em uma localidade de campo rupestre na Serra do Curral, Minas Gerais. *Ararajuba*, 7(2): 71-79.

Vasconcelos, M.F. & Lombardi, J.A. 2001. Hummingbirds and their flowers in the campos rupestres of southern Espinhaço Range, Brazil. *Melopsittacus*, 4(1): 3-30.

Vasconcelos, M.F. & Rodrigues, M. 2010. Patterns of geographic distribution and conservation of the open-habitat avifauna of southeastern Brazilian mountaintops (campos rupestres and campos de altitude). *Papéis Avulsos de Zoologia, São Paulo*, 50(1): 1-29.

- Vasconcelos, M.F.; D'Angelo Neto, S. & Ouriques, E.V. 2005. Consumo de folhas e flores por *Schistochlamys melanopis* (Latham, 1790) e por *Schistochlamys ruficapillus* (Vieillot, 1817) (Passeriformes: Thraupidae). *Atualidades Ornitológicas*, 125: 5.
- Vasconcelos, M.F.; Figueredo, C.C. & Oliveira, R.S. 1998. Padrão temporal de vocalização do bacurau-da-telha *Caprimulgus longirostris* (Aves, Caprimulgidae) ao longo de quatro noites na Serra do Curral, Minas Gerais, Brasil. *Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão, Nova Série*, 9: 13-17.
- Vasconcelos, M.F.; Figueredo, C.C. & Oliveira, R.S. 1999a. Táticas de forrageamento do bacurau-da-telha *Caprimulgus longirostris* (Aves, Caprimulgidae) na Serra do Curral, Minas Gerais, Brasil. *Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão, Nova Série*, 10: 33-38.
- Vasconcelos, M.F.; Lombardi, V.T. & D'Angelo-Neto, S. 2007. Notas sobre o canário-rasteiro (*Sicalis citrina*) nas serras de Minas Gerais, Brasil. *Atualidades Ornitológicas*, 140: 6-7.
- Vasconcelos, M.F.; Lopes, L.E.; Hoffmann, D.; Silveira, L.F. & Schunck, F. 2008. Noteworthy records of birds from the Pantanal, Chiquitano dry forest and Cerrado of south-western Brazil. *Bulletin of the British Ornithologists' Club*, 128(1): 57-67.
- Vasconcelos, M.F.; Maldonado-Coelho, M. & Buzzetti, D.R.C. 2003. Range extensions for the Gray-backed Tachuri (*Polystictus superciliaris*) and the Pale-throated Serra-finch (*Embernagra longicauda*) with a revision on their geographic distribution. *Ornitología Neotropical*, 14(4): 477-489.
- Vasconcelos, M.F.; Maldonado-Coelho, M. & Durães, R. 1999b. Notas sobre algumas espécies de aves ameaçadas e pouco conhecidas da porção meridional da Cadeia do Espinhaço, Minas Gerais. *Melospittacus*, 2(2-4): 44-50.
- Viana, P.L. & Lombardi, J.A. 2007. Florística e caracterização dos campos rupestres sobre canga na Serra da Calçada, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia*, 58(1): 159-177.
- Vieliard, J.M.E. 1994. *Catálogo dos troquilídeos do Museu de Biologia Mello Leitão*. Santa Teresa: Museu de Biologia Mello Leitão. 94 p.
- Whitney, B.M.; Vasconcelos, M.F.; Silveira, L.F. & Pacheco, J.F. 2010. *Scytalopus petrophilus* (Rock Tapaculo): a new species from Minas Gerais, Brazil. *Revista Brasileira de Ornitologia*, 18(2): 73-88.
- Willis, E.O. 2002. Birds at *Eucalyptus* and other flowers in southern Brazil: a review. *Ararajuba*, 10(1): 43-66.
- Willis, E.O. & Schuchmann, K.-L. 1993. Comparison of cloud-forest avifaunas in southeastern Brazil and western Colombia. *Ornitología Neotropical*, 4(1): 55-63.
- Wischhoff, U.; Marques-Santos, F. & Rodrigues, M. 2012. Nesting of the Cinereous Warbling Finch (*Poospiza cinerea*) in southeastern Brazil. *The Wilson Journal of Ornithology*, 124(1): 166-169.
- Zorzin, G.; Carvalho, C.E.A.; Carvalho Filho, E.P.M. & Canuto, M. 2006. Novos registros de Falconiformes raros e ameaçados para o Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ornitologia*, 14(4): 417-421.

Apêndice 1 - Lista de fontes utilizadas na revisão da avifauna das vegetações abertas e semiabertas associadas a geossistemas ferruginosos do Brasil.

Código	Fonte
1	Salvadori (1900)
2	Naumburg (1930)
3	Pinto (1952)
4	Ruschi (1962)
5	Ruschi (1963a)
6	Ruschi (1963b)
7	Grantsau (1967)
8	Grantsau (1968)
9	Ruschi (1982)
10	Mattos & Sick (1985)
11	Vielliard (1994)
12	Lencioni-Neto (1996)
13	Vasconcelos & Lombardi (1996)
14	Sick (1997)
15	Vasconcelos (1997)
16	Machado <i>et al.</i> (1998)
17	Vasconcelos <i>et al.</i> (1998)
18	Vasconcelos & Lombardi (1999)
19	Vasconcelos (1999)
20	Vasconcelos <i>et al.</i> (1999a)
21	Vasconcelos <i>et al.</i> (1999b)
22	Mauro & Campos (2000)
23	Vasconcelos & Lombardi (2001)
24	Vasconcelos (2001)
25	Willis (2002)
26	Vasconcelos <i>et al.</i> (2003)
27	Vasconcelos <i>et al.</i> (2005)
28	Zorzin <i>et al.</i> (2006)
29	Hoffmann <i>et al.</i> (2007)

Apêndice 1 - continuação

Código	Fonte
30	Pacheco <i>et al.</i> (2007)
31	Vasconcelos (2007)
32	Vasconcelos <i>et al.</i> (2007)
33	Vasconcelos (2008)
34	Vasconcelos <i>et al.</i> (2008)
35	Ferreira <i>et al.</i> (2009)
36	Hoffmann <i>et al.</i> (2009a)
37	Hoffmann <i>et al.</i> (2009b)
38	Nunes (2009)
39	Hoffmann <i>et al.</i> (2010)
40	Lopes <i>et al.</i> (2010)
41	Vasconcelos & Rodrigues (2010)
42	Whitney <i>et al.</i> (2010)
43	Hoffmann & Rodrigues (2011)
44	Lopes & Vasconcelos (2011)
45	Mazzoni & Perillo (2011)
46	Aleixo <i>et al.</i> (2012)
47	Lopes (2012)
48	Mazzoni <i>et al.</i> (2012)
49	Wischhoff <i>et al.</i> (2012)
50	Lopes <i>et al.</i> (2013)
51	AMNH
52	DZUFMG
53	MBML
54	MCNA
55	MPEG
56	MZUSP
57	SG
58	obs. pess.

Apêndice 2 - Lista da avifauna registrada nas vegetações abertas e semiabertas associadas a geossistemas ferruginosos do Brasil. Os códigos numéricos das fontes são apresentados no Apêndice 1. Endemismo: CE = endêmica da região do Cerrado; TM = endêmica dos topos de montanha do leste do Brasil (campos rupestres e campos de altitude). Sensibilidade: A = alta; B = baixa; M = média. Estado de conservação: GL = global; BR = Brasil; MG = Minas Gerais / VU = vulnerável; EN = em perigo.

Táxon (Ordem / Família / Espécie)	Nome em Português	CJ	QF	UR	Endemismo	Sensibilidade	Estado de conservação		
							GL	BR	MG
TINAMIFORMES									
Tinamidae									
<i>Crypturellus parvirostris</i>	inhambu-chororó	30, 46, 55, 58	41, 58	22, 58		B			
<i>Rhynchotus rufescens</i>	perdiz	30, 46	41, 58	22, 58		B			
<i>Nothura maculosa</i>	codorna-amarela		31, 41, 58	58		B			
CATHARTIFORMES									
Cathartidae									
<i>Cathartes aura</i>	urubu-de-cabeça-vermelha	30, 46, 58	35, 41, 58	22, 58		B			
<i>Coragyps atratus</i>	urubu-de-cabeça-preta		15, 31, 35, 41, 58	22, 58		B			
<i>Sarcoramphus papa</i>	urubu-rei		41, 58	1, 22, 58		M			
ACCIPITRIFORMES									
Accipitridae									
<i>Leptodon cayanensis</i>	gavião-de-cabeça-cinza			2, 22		M			
<i>Heterospizias meridionalis</i>	gavião-caboclo			1, 2, 22, 58		B			
<i>Urubitinga coronata</i>	águia-cinzenta		28, 41, 58			M	EN	VU	EN
<i>Rupornis magnirostris</i>	gavião-carijó	30, 55, 58	31, 35, 41, 58	1, 2, 22, 58		B			
<i>Parabuteo unicinctus</i>	gavião-asa-de-telha	46				B			
<i>Geranoaetus albicaudatus</i>	gavião-de-rabo-branco	30, 46, 58	31, 41, 50, 58	22, 58		B			
<i>Geranoaetus melanoleucus</i>	águia-chilena		31, 41, 58			M			
<i>Buteo nitidus</i>	gavião-pedrês	58				M			
<i>Buteo brachyurus</i>	gavião-de-cauda-curta	30, 55				M			
<i>Buteo albonotatus</i>	gavião-de-rabo-barrado		41, 58			M			
GRUIFORMES									
Rallidae									
<i>Micropygia schomburgkii</i>	maxalalagá		48			A			EN
<i>Laterallus viridis</i>	sanã-castanha	30, 46, 54, 55, 58				B			

Apêndice 2 - continuação

Táxon (Ordem / Família / Espécie)	Nome em Português	CJ	QF	UR	Endemismo	Sensibilidade	Estado de conservação		
							GL	BR	MG
CHARADRIIFORMES									
Scolopacidae									
<i>Gallinago paraguaiiae</i>	narceja	46, 54, 58				B			
COLUMBIFORMES									
Columbidae									
<i>Columbina passerina</i>	rolinha-cinzenta	46				B			
<i>Columbina minuta</i>	rolinha-de-asa- canela	46				B			
<i>Columbina talpacoti</i>	rolinha-roxa	30, 46	41, 58	1, 2, 22, 58		B			
<i>Patagioenas picazuro</i>	pombão		31, 35, 41, 58	22, 58		M			
<i>Zenaida auriculata</i>	pomba-de-bando			1, 2, 22, 58		B			
<i>Leptotila verreauxi</i>	juriti-pupu	30, 46				B			
CUCULIFORMES									
Cuculidae									
<i>Coccyzua minuta</i>	chincoã-pequeno	30				B			
<i>Crotophaga ani</i>	anu-preto	30, 58	35	2, 22, 58		B			
<i>Guira guira</i>	anu-branco			2, 22, 58		B			
<i>Tapera naevia</i>	saci	30, 46, 55	35	1, 2, 22		B			
STRIGIFORMES									
Tytonidae									
<i>Tyto furcata</i>	coruja-da-igreja	30, 55	31			B			
Strigidae									
<i>Bubo virginianus</i>	jacurutu			2, 22		B			
<i>Glaucidium brasilianum</i>	caburé			2, 22, 58		B			
<i>Athene cunicularia</i>	coruja- buraqueira		41, 58			M			
<i>Asio clamator</i>	coruja-orelhuda	46				B			
NYCTIBIFORMES									
Nyctibiidae									
<i>Nyctibius griseus</i>	mãe-da-lua	46				B			
CAPRIMULGIFORMES									
Caprimulgidae									
<i>Hydropsalis nigrescens</i>	bacurau-de- lajeado	54, 58				M			
<i>Hydropsalis parvula</i>	bacurau-chintã			2, 22		B			
<i>Hydropsalis longirostris</i>	bacurau-da-telha		17, 20, 31, 35, 39, 41, 52, 54, 58			B			
<i>Hydropsalis maculicauda</i>	bacurau-de- rabo-maculado	30, 46				M			
<i>Hydropsalis torquata</i>	bacurau-tesoura	30, 46, 54, 55	41, 50, 58			B			

Apêndice 2 - continuação

Táxon (Ordem / Família / Espécie)	Nome em Português	CJ	QF	UR	Endemismo	Sensibilidade	Estado de conservação		
							GL	BR	MG
APODIFORMES									
Apodidae									
<i>Tachornis squamata</i>	andorinhão-do-buriti	30, 46, 58				B			
Trochilidae									
<i>Phaethornis pretrei</i>	rabo-branco-acanelado		18, 23, 31, 41, 58	1, 22		B			
<i>Eupetomena macroura</i>	beija-flor-tesoura	46, 58	18, 23, 31, 41, 58			B			
<i>Colibri serrirostris</i>	beija-flor-de-orelha-violeta	30, 46	18, 23, 31, 35, 41, 50, 52, 56, 58			B			
<i>Chlorostilbon notatus</i>	beija-flor-de-garganta-azul	46				B			
<i>Chlorostilbon lucidus</i>	besourinho-de-bico-vermelho		18, 23, 31, 35, 41, 52, 58	1, 2, 22, 52, 58		B			
<i>Thalurania furcata</i>	beija-flor-tesoura-verde	58		1, 2, 52, 58		M			
<i>Hylocharis chrysura</i>	beija-flor-dourado			2, 22, 52, 58		M			
<i>Polytmus theresiae</i>	beija-flor-verde	46				M			
<i>Amazilia fimbriata</i>	beija-flor-de-garganta-verde	30, 46, 58				B			
<i>Amazilia lactea</i>	beija-flor-de-peito-azul		18, 23, 31, 41, 56, 58			B			
<i>Augastes scutatus</i>	beija-flor-de-gravata-verde		4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 14, 19, 21, 23, 25, 33, 41, 51, 52, 53, 54, 57, 58		TM	M			
GALBULIFORMES									
Bucconidae									
<i>Nystalus chacuru</i>	joão-bobo		31, 41, 52, 58			M			
PICIFORMES									
Ramphastidae									
<i>Ramphastos toco</i>	tucanuçu			22, 58		M			
Picidae									
<i>Melanerpes candidus</i>	pica-pau-branco	46, 58		2, 22, 58		B			
<i>Veniliornis passerinus</i>	picapauzinho-anão	46				M			
<i>Veniliornis mixtus</i>	pica-pau-chorão		48			M			
<i>Colaptes melanochloros</i>	pica-pau-verde-barrado	46				B			
<i>Colaptes campestris</i>	pica-pau-do-campo	30, 46, 58	31, 35, 41, 58	22		B			

Apêndice 2 - continuação

Táxon (Ordem / Família / Espécie)	Nome em Português	CJ	QF	UR	Endemismo	Sensibilidade	Estado de conservação		
							GL	BR	MG
CARIAMIFORMES									
Cariamidae									
<i>Cariama cristata</i>	seriema		35, 41, 58	22, 58		B			
FALCONIFORMES									
Falconidae									
<i>Caracara plancus</i>	caracará	30, 46	31, 35, 41, 58	22, 58		B			
<i>Milvago chimachima</i>	carrapateiro	30, 46	31, 35, 41, 58	1, 2, 22, 58		B			
<i>Falco sparverius</i>	quiriquiri	46	31, 41, 52, 58	22, 58		B			
PSITTACIFORMES									
Psittacidae									
<i>Psittacara leucophthalmus</i>	periquitão-maracanã	58	41, 58			B			
<i>Aratinga jandaya</i>	jandaia-verdadeira	30, 46, 55, 58				M			
<i>Eupsittula aurea</i>	periquito-rei		31, 41, 56, 58			M			
<i>Brotogeris chiriri</i>	periquito-de-encontro-amarelo		35, 41, 58	1, 2, 22, 58		B			
PASSERIFORMES									
Thamnophilidae									
<i>Myrmorchilus strigilatus</i>	piu-piu			1, 2, 58		M			
<i>Formicivora grisea</i>	papa-formiga-pardo	30, 46, 55, 58				B			
<i>Formicivora rufa</i>	papa-formiga-vermelho			1, 2, 22, 52, 58		B			
<i>Thamnophilus doliatus</i>	choca-barrada	46				B			
<i>Thamnophilus ruficapillus</i>	choca-de-chapéu-vermelho		41, 58			B			
<i>Thamnophilus torquatus</i>	choca-de-asa-vermelha	30, 46, 52, 54, 55, 58	21, 31, 41, 50, 58			M			
Melanopareiidae									
<i>Melanopareia torquata</i>	tapaculo-de-colarinho		13, 21, 31, 35, 41, 52, 54, 58		CE	M			
Rhinocryptidae									
<i>Scytalopus petrophilus</i>	tapaculo-serrano		21, 41, 42, 52, 58			M			
Dendrocolaptidae									
<i>Lepidocolaptes angustirostris</i>	arapaçu-de-cerrado	30	58	2, 22, 58		M			

Apêndice 2 - continuação

Táxon (Ordem / Família / Espécie)	Nome em Português	CJ	QF	UR	Endemismo	Sensibilidade	Estado de conservação		
							GL	BR	MG
Furnariidae									
<i>Furnarius rufus</i>	joão-de-barro		31, 41, 58	2, 22		B			
<i>Phacellodomus rufifrons</i>	joão-de-pau		35, 41, 58	2, 22, 58		M			
<i>Synallaxis frontalis</i>	petrim	30, 46, 55, 58				B			
<i>Synallaxis albescens</i>	uí-pi	30, 46	31, 41, 54, 58			B			
<i>Synallaxis spixi</i>	joão-teneném		31, 41, 52, 58			B			
<i>Synallaxis scutata</i>	estrelinha-preta	30, 46, 54, 55				M			
Pipridae									
<i>Neopelma pallescens</i>	fruxu-do-cerradão	30, 46, 55				M			
Rhynchocyclidae									
<i>Tolmomyias flaviventris</i>	bico-chato-amarelo	30, 55, 58				B			
<i>Todirostrum cinereum</i>	ferreirinho-relógio	30, 46, 58		2, 22		B			
<i>Hemitriccus margaritaceiventer</i>	sebinho-de-olho-de-ouro	30, 46, 54, 55, 58		1, 2, 58		M			
Tyrannidae									
<i>Hirundinea ferruginea</i>	gibão-de-couro	30, 46, 55, 58	31, 35, 41, 58	1, 2, 22, 58		B			
<i>Euscarthmus meloryphus</i>	barulhento	30, 46		58		B			
<i>Camptostoma obsoletum</i>	risadinha	46, 58	31, 35, 41, 50, 58	2, 22, 58		B			
<i>Elaenia flavogaster</i>	guaracava-de-barriga-amarela	46, 58	31, 41, 58	22		B			
<i>Elaenia cristata</i>	guaracava-de-topete-uniforme	30, 46, 54, 55, 58	35, 36, 41, 58			M			
<i>Elaenia obscura</i>	tucão		31, 35, 41, 50, 52, 58			M			
<i>Suiriri suiriri</i>	suiriri-cinzento			22		M			
<i>Phaemyias murina</i>	bagageiro	30, 46, 55	41, 58	2		B			
<i>Phyllomyias fasciatus</i>	piolhinho	46, 58	31, 41, 52, 58			B			
<i>Culicivora caudacuta</i>	papa-moscas-do-campo		40, 48, 52, 58			M	VU	VU	VU
<i>Polystictus superciliaris</i>	papa-moscas-de-costas-cinzentas		13, 19, 21, 26, 29, 31, 33, 41, 43, 52, 54, 58		TM	M			
<i>Serpophaga subcristata</i>	alegrinho		41, 58	2, 22		B			

Apêndice 2 - continuação

Táxon (Ordem / Família / Espécie)	Nome em Português	CJ	QF	UR	Endemismo	Sensibilidade	Estado de conservação		
							GL	BR	MG
<i>Myiarchus ferox</i>	maria-cavaleira	30, 46, 55, 58	35, 41, 52, 58	2		B			
<i>Myiarchus tyrannulus</i>	maria-cavaleira- de-rabo- enferrujado	46		22, 58		B			
<i>Rhytipterna immunda</i>	vissíá-cantor	30, 46, 55				M			
<i>Pitangus sulphuratus</i>	bem-te-vi	30, 46, 55, 58	31, 41, 58	2, 22, 58		B			
<i>Machetornis rixosa</i>	suiriri-cavaleiro	46		2, 22		B			
<i>Megarynchus pitangua</i>	neinei	46	41, 58	1, 2, 22, 58		B			
<i>Myiophobus fasciatus</i>	filipe	30, 46, 54, 55, 58	31, 41, 52, 58	1, 2, 58		B			
<i>Sublegatus obscurior</i>	sertanejo-escuro	30, 54				M			
<i>Cnemotriccus fuscatus</i>	guaracavuçu	46				B			
<i>Knipolegus lophotes</i>	maria-preta-de- penacho		3, 31, 35, 41, 58			B			
<i>Knipolegus nigerrimus</i>	maria-preta- de-garganta- vermelha		12, 31, 35, 41, 50, 52, 56, 58			M			
<i>Satrapa icterophrys</i>	suiriri-pequeno			2, 22		B			
<i>Xolmis cinereus</i>	primavera	30, 46	31, 41, 58	22		B			
<i>Xolmis velatus</i>	noivinha-branca		41, 58	22		M			
Vireonidae									
<i>Cyclarhis gujanensis</i>	pitiguari	30, 46, 55, 58	31, 41, 58	2, 22, 58		B			
<i>Hylophilus pectoralis</i>	vite-vite-de- cabeça-cinza	46				B			
Corvidae									
<i>Cyanocorax cristatellus</i>	gralha-do-campo		31, 35, 41, 58		CE	M			
<i>Cyanocorax cyanopogon</i>	gralha-cancã	46, 58				M			
Troglodytidae									
<i>Troglodytes musculus</i>	corruíra	30, 46, 55, 58	31, 41, 52, 58	1, 2, 22, 52, 58		B			
<i>Cistothorus platensis</i>	corruíra-do- campo		21, 50, 52, 54, 58			B			
Poliophtilidae									
<i>Poliophtila plumbea</i>	balança-rabo-de- chapéu-preto	46				B			
Turdidae									
<i>Turdus leucomelas</i>	sabiá-barranco	30, 46, 55, 58	31, 41, 58	1, 2, 58		B			
<i>Turdus rufiventris</i>	sabiá-laranjeira		41, 58	1, 2, 22, 58		B			
<i>Turdus amaurochalinus</i>	sabiá-poca	30, 46, 55	41, 58	2, 22, 58		B			

Apêndice 2 - continuação

Táxon (Ordem / Família / Espécie)	Nome em Português	CJ	QF	UR	Endemismo	Sensibilidade	Estado de conservação		
							GL	BR	MG
Mimidae									
<i>Mimus saturninus</i>	sabiá-do-campo	46	31, 35, 41, 58			B			
Motacillidae									
<i>Anthus nattereri</i>	caminheiro- grande		45			M	VU	VU	EN
<i>Anthus hellmayri</i>	caminheiro- de-barriga- acanelada		41, 44, 45, 52, 54, 58			B			
Passerellidae									
<i>Zonotrichia capensis</i>	tico-tico	30, 46, 52, 54, 55, 58	31, 35, 41, 50, 52, 58			B			
<i>Ammodramus humeralis</i>	tico-tico-do- campo	30, 46, 54, 55	41, 58	1, 2, 22, 58		B			
Parulidae									
<i>Setophaga pitaiyumi</i>	mariquita			22, 58		M			
<i>Geothlypis aequinoctialis</i>	pia-cobra	46	31, 35, 41, 50, 52, 58	2, 22		B			
<i>Myiothlypis flaveola</i>	canário-do-mato	30, 54, 55, 58				M			
Icteridae									
<i>Icterus pyrrhopterus</i>	encontro			2, 22, 58		M			
<i>Gnorimopsar chopi</i>	graúna		41, 58	22, 58		B			
<i>Molothrus bonariensis</i>	vira-bosta	46	31, 41, 58	22		B			
Thraupidae									
<i>Coereba flaveola</i>	cambacica	30, 55, 58	31, 35, 41, 52, 58			B			
<i>Saltatricula atricollis</i>	bico-de-pimenta		58	22, 52, 58	CE	M			
<i>Saltator maximus</i>	tempera-viola	30, 46, 58				B			
<i>Saltator coerulescens</i>	sabiá-gongá	46				B			
<i>Nemosia pileata</i>	saíra-de-chapéu- preto			2, 22		B			
<i>Thlypopsis sordida</i>	saí-canário			2		B			
<i>Cypsnagra hirundinacea</i>	bandoleta		21, 58			A			
<i>Tachyphonus rufus</i>	pipira-preta	30, 46, 55, 58		58		B			
<i>Ramphocelus carbo</i>	pipira-vermelha	30, 46, 58		22, 58		B			
<i>Lanio pileatus</i>	tico-tico-rei- cinza		31, 35, 41, 58			B			
<i>Lanio cucullatus</i>	tico-tico-rei	46		1, 2, 22, 52, 58		B			
<i>Tangara sayaca</i>	sanhaçu- cinzento	46	31, 41, 58	22, 58		B			
<i>Tangara palmarum</i>	sanhaçu-do- coqueiro	30, 46, 55				B			

Apêndice 2 - continuação

Táxon (Ordem / Família / Espécie)	Nome em Português	CJ	QF	UR	Endemismo	Sensibilidade	Estado de conservação		
							GL	BR	MG
<i>Tangara cayana</i>	saíra-amarela		31, 35, 41, 52, 58			B			
<i>Neothraupis fasciata</i>	cigarra-do- campo		21, 58			M			
<i>Schistochlamys melanopsis</i>	sanhaçu-de- coleira	27, 30, 54, 55, 58				B			
<i>Schistochlamys ruficapillus</i>	bico-de-veludo		31, 41, 50, 52, 56, 58			B			
<i>Dacnis cayana</i>	saí-azul		31, 41, 58			B			
<i>Hemithraupis guira</i>	saíra-de-papo- preto			2, 58		B			
<i>Porphyrospiza caerulescens</i>	campainha-azul		13, 21, 31, 41, 47, 58	1, 2, 34, 38, 52, 58	CE	M			
<i>Donacospiza albifrons</i>	tico-tico-do- banhado		52, 54, 58			M			
<i>Poospiza cinerea</i>	capacetinho-do- oco-do-pau		13, 21, 31, 35, 40, 41, 49, 58		CE	A	VU		
<i>Sicalis citrina</i>	canário-rasteiro		31, 32, 41, 52, 58			M			
<i>Sicalis flaveola</i>	canário-da-terra- verdadeiro	46, 58		1, 2, 22, 58		B			
<i>Emberizoides herbicola</i>	canário-do- campo	46, 58	21, 41, 58	58		B			
<i>Embernagra longicauda</i>	rabo-mole-da- serra		10, 13, 14, 16, 21, 24, 26, 33, 37, 41, 52, 54, 56, 58		TM	M			
<i>Volatinia jacarina</i>	tiziu	30, 46, 55	31, 41, 52, 58	1, 2, 22, 52, 58		B			
<i>Sporophila nigricollis</i>	baiano	30, 46, 55, 58	31, 41, 58			B			
<i>Sporophila caerulescens</i>	coleirinho			1, 2, 22		B			
<i>Coryphaspiza melanotis</i>	tico-tico-de- máscara-negra		40, 48, 58			A	VU	VU	EN
Cardinalidae									
<i>Piranga flava</i>	sanhaçu-de-fogo		31, 41, 58	2, 52, 58		B			
Fringillidae									
<i>Sporagra magellanica</i>	pintassilgo		58	22		B			
<i>Euphonia chlorotica</i>	fim-fim	30, 46, 58	31, 41, 58	22, 58		B			

VEGETAÇÃO SOBRE SISTEMAS FERRUGINOSOS DA SERRA DOS CARAJÁS

Nara Furtado de Oliveira Mota, Leonardo Vianna C. Silva, Frederico Drumond Martins & Pedro Lage Viana

Inserção geográfica de Carajás

Constituindo parte dos estados do Pará, Maranhão e Tocantins, a Província Mineral de Carajás ocupa ampla extensão nas bacias dos rios Araguaia, Tocantins e Xingu (Santos 1986). Neste território com ocorrência de diversos tipos de rochas, insere-se o complexo montanhoso Serra dos Carajás, localizado no sudeste do Estado do Pará (5°54' -6°33' S e 49°53' -50°34' W), nos municípios de Parauapebas, Canaã dos Carajás e Água Azul do Norte (Secco & Mesquita 1983; Silva 1991; Silva *et al.* 1996; Golder 2010). Essas serras situam-se na bacia hidrográfica do Rio Itacaiúnas, afluente do Rio Tocantins, cuja confluência ocorre na cidade de Marabá (Golder 2006, 2010). Além das Serras dos Carajás, a região engloba as Serras do Bacajá, ao norte, dos Gradaús e Andorinhas, ao sul (Santos 1986). A região é predominantemente composta por formações florestais, sob o domínio da Floresta Amazônica, havendo manchas de vegetação aberta no topo de serras, as quais ocupam menos de 5% da paisagem (Ab'Saber 1986).

As montanhas da Serra dos Carajás encontram-se quase em sua totalidade dentro dos limites da Floresta Nacional de Carajás (Flona Carajás), unidade de conservação de uso sustentável que abrange uma área de aproximadamente 400 mil hectares (STCP 2003). As maiores serras da Flona de Carajás são constituídas por rochas ferríferas expostas há milhares de anos, formando densa carapaça laterítica, também conhecida como canga. Montanhas ferruginosas na região também são observadas fora de qualquer unidade de conservação, a exemplo da Serra da Bocaina, separada da Flona apenas pelo leito do Rio Parauapebas, e as Serras do Cristalino e Leste, situadas em um raio de cerca de 30 km a leste da Flona Carajás. A exceção da Serra do Cristalino, que possui pequena extensão de afloramento ferruginoso, as outras duas encontram-se bastante antropizadas.

O clima da Flona Carajás, segundo a classificação de Köppen, é do tipo AWi, tropical chuvoso com seca de inverno, apresentando dois subtipos: o Equatorial Continental, associado às encostas e terras baixas, e o clima Equatorial Mesotérmico de Altitude, associado ao topos de serra. Este último é caracterizado pela temperatura média entre 23-25 °C e precipitação anual variando entre 2.000 e 2.400 mm (STCP 2003).

As formações ferríferas da Serra dos Carajás são formadas principalmente por dois grandes blocos: a Serra Sul e a Serra Norte, ambos com extensão aproximada de 20 km de comprimento no sentido leste-oeste e largas que variam entre 1 e 3 km, além de diversas outras serras de menores dimensões em meio a estas. Além destes blocos destacam-se a Serra do Tarzan e Serra da Bocaina, as quais são por vezes consideradas como pertencentes à Serra Sul, apesar de disjuntas.

O conjunto de serras ferríferas inseridas na Floresta Nacional de Carajás ocorre de forma descontínua na paisagem, sendo que os principais corpos de minério que compõem essas geoformas podem ser identificados em blocos menores. Na Serra Norte os corpos de minério são organizados por blocos intitulados N1, N2, N3... N9; e na Serra Sul, identificados como S11A, S11B, S11C, S11D e Tarzan (Figura 1). Com altitudes médias entre 600 e 800 m, essas formações rupestres ferríferas são recobertas por uma vegetação peculiar, denominada vegetação rupestre

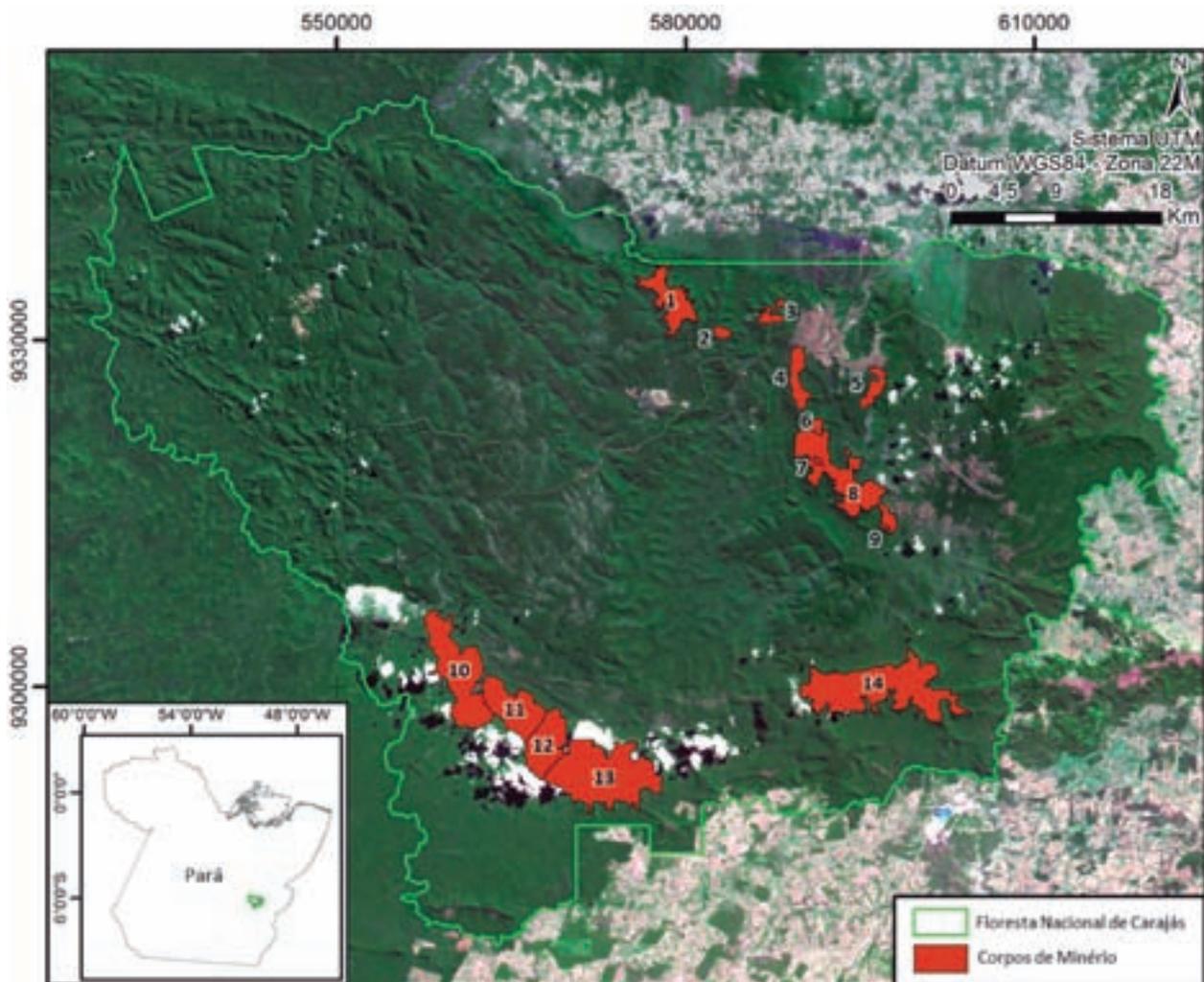


Figura 1 – Principais serras ferríferas inseridas na Floresta Nacional de Carajás e seus respectivos corpos de minério de ferro. Na Serra Norte os corpos de minério são organizados pelos blocos 1-9 (N1-N9). Na Serra Sul os corpos de minério são organizados pelos blocos 10-14 (S11A, S11B, S11C, S11D e Tarzan). Adaptado de ICMBio, 2014: Mapa da ocorrência de corpos de minério na Floresta Nacional de Carajás.

sobre canga, formada predominantemente por espécies vegetais de porte herbáceo-arbustivo com elevado grau de especialização para este ambiente (Silva 1991; Golder 2010). Caracteriza-se por elevada riqueza vegetal, sendo muitas espécies consideradas endêmicas deste ambiente (e.g. Kirkbride 1980; Plowman 1984; Lourtieg 1987; Kral 1988; Silva *et al.* 1996; Kral & Strong 1999). Apesar do predomínio da feição arbustiva nestas formações rupestres, feições campestres, lagos, brejos e florestas de porte variado também se fazem presentes nas serras.

Juntamente com as Florestas Nacionais de Itacaiúnas e do Tapirapé-Aquiri, a Reserva Biológica de Tapirapé, a Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado e a Terra Indígena Xicrin do Catetê, a Flona Carajás constitui um mosaico de áreas protegidas (Figura 2). O Mosaico de Carajás constitui um grande contínuo florestal de cerca de 12.000 km² inserido em região de intensa pressão antrópica, principalmente pela expansão da fronteira agropecuária no entorno. A paisagem definida por extensas pastagens na porção sul/leste de Carajás avança ao norte/oeste em processo de isolamento geográfico do conjunto de áreas protegidas (Martins *et al.* 2012), que resguardam amostras do que outrora foi a rica vegetação sul paraense (Figura 2). Um dos importantes passos no reconhecimento da importância da Flona Carajás foi dado pelo Ministério do Meio Ambiente, há dez anos atrás, quando reconheceu a Flona como uma área de importância extremamente alta para a conservação da biodiversidade brasileira (MMA 2004).

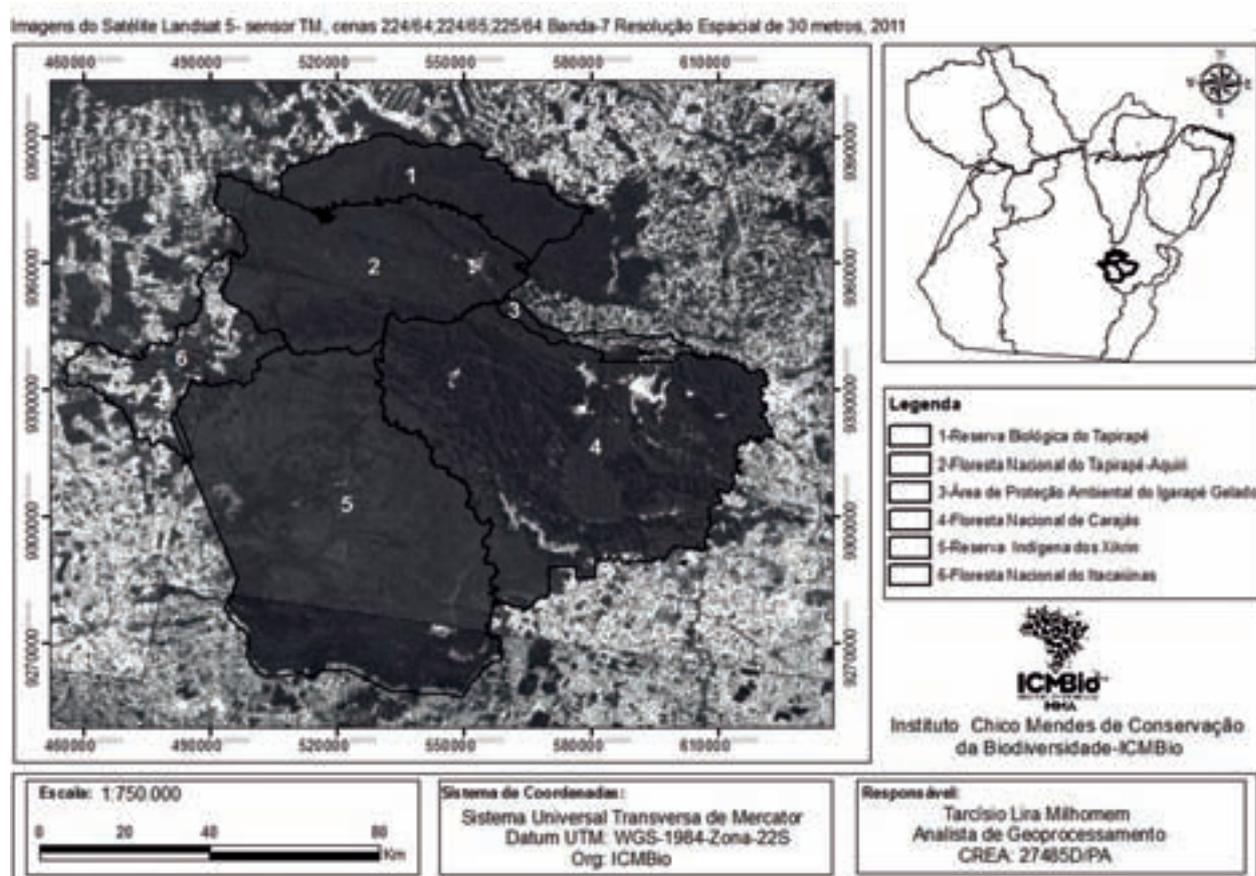


Figura 2 – Mosaico de unidades de conservação que abrangem a região da Serra dos Carajás.

Província Mineral de Carajás

Além da peculiaridade da sua vegetação, a Serra dos Carajás também é destaque por seus recursos minerais, sendo considerada a mais rica área mineral do Brasil e uma das mais expressivas do planeta (Freitas 1986; Santos 1986). Os processos extrativos são relacionados ao ferro, cobre, níquel, ouro, manganês, areia, pedreiras de gnaiss e ametista, o que dá a dimensão da variedade de rochas e, por correlação, remete à diversidade de comunidades vegetais.

Em Carajás estão as mais importantes jazidas de minério de ferro de alto teor do mundo, tendo sido descoberta em 1967 pela empresa *United States Steel*. Esta empresa conseguiu formalizar, em 1970, um acordo com o governo brasileiro, dando origem à empresa AMZA (Amazônia Mineração SA), onde 51% do capital acionário estava em poder da CVRD (Companhia Vale do Rio Doce) e 49% da *US Steel*. Em 1974, a AMZA obteve direito de exploração sobre toda a área de Carajás (Santos 1986).

Como consequência da riqueza mineralógica deste complexo montanhoso, em 1980, o governo brasileiro cria o Projeto Grande Carajás-PGC (Feitosa 1988), considerado o maior projeto de desenvolvimento “integrado” jamais empreendido em uma área de floresta tropical úmida em qualquer parte do mundo (Hall 1991). Como consequência direta, a Floresta Nacional de Carajás é criada em fevereiro de 1998, apresentando em seus objetivos o manejo, a pesquisa, a lavra, o beneficiamento, o transporte e a comercialização de recursos minerais.

Para Santos (2010), as unidades de conservação de Carajás foram concebidas com o objetivo de criar uma área “escudo” de proteção à mineração sem intrusão humana, uma vez que a mineração atrai grande migração. Atualmente o entorno da Flona de Carajás apresenta sete assentamentos do INCRA, além de possuir uma grande extensão de limite da unidade de conservação com a área urbana do município de Parauapebas (Carvalho 2010).

Atualmente encontram-se em atividade no interior da Flona as minas de ferro N4, N5 e S11D e a mina de manganês (Azul), além de áreas alteradas por exploração de cobre, ouro e areia. As minas de ferro são a céu aberto e todo o processo de extração mineral, tais como avanço de cava, construção e alteamento de barragens e empilhamento de estéril, acarretam alterações na paisagem com supressão vegetal, incluindo florestas e formas abertas (Carvalho 2010).

Neste contexto, a peculiar vegetação sobre canga em Carajás vem sendo eliminada em um ritmo que ameaça atropelar o conhecimento sobre sua flora e a definição de estratégias que garantam sua conservação.

Histórico de estudos sobre a flora de Carajás

As investigações sobre a flora da região de Carajás iniciaram-se em 1969, quando o botânico Paulo Bezerra Cavalcante, do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), realizou as primeiras coletas botânicas na região. No ano seguinte foi publicada *Centrosema carajasensis* Cavalcante, a primeira espécie nova proveniente da região. Nos anos subsequentes foram descritas diversas espécies novas para a ciência, como as endêmicas *Parapiqueria cavalcantei* R.M.King & H.Rob.,

Cavalcantia glomerata (G.M.Barroso & R.M.King) R.M.King. & H.Rob. (King & Robinson 1980), *Monogereion carajensis* G.M.Barroso & R.M.King (Asteraceae) (Barroso & King 1971) e *Ipomoea cavalcantei* D.F.Austin, além de *I. carajasensis* D.F.Austin (Convolvulaceae) (Austin 1981) (Figura 3).

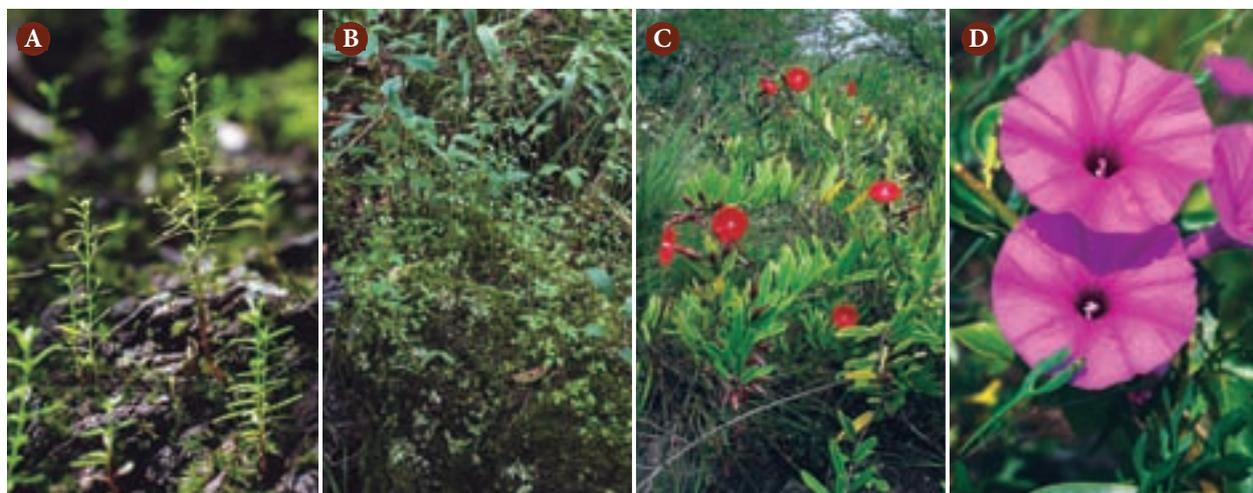


Figura 3 – Primeiras espécies descritas para a Serra dos Carajás. **A.** *Parapiqueria cavalcantei* (Asteraceae) **B.** *Monogereion carajensis* (Asteraceae) **C.** *Ipomoea cavalcantei* (Convolvulaceae) **D.** *Ipomea carajasensis* (Convolvulaceae).

Pesquisadores do MPEG prosseguiram, nas décadas de 1970 e 80, com coletas botânicas na região, especialmente nas formações rupestres, resultando na publicação da primeira listagem florística para esse tipo de vegetação em Carajás (Secco & Mesquita 1983). Neste trabalho, os autores apresentam uma caracterização das fitofisionomias encontradas da Serra Norte, acompanhada de uma lista de espécies coletadas pelo primeiro autor em um intervalo de dois meses de amostragem e depositadas no acervo do herbário MG, do Museu Paraense Emílio Goeldi. Apesar de seu caráter preliminar e do grande número de táxons identificados até gênero somente, a lista composta por 82 espécies de Angiospermas permite importantes considerações sobre afinidades biogeográficas da região com os domínios da Caatinga e do Cerrado. Os autores ainda ressaltam a presença de espécies endêmicas da região, mas não aprofundam nessa discussão devido ao seu caráter preliminar.

A listagem de Secco e Mesquita foi então incrementada em publicações subsequentes (*e.g.* Silva *et al.* 1986a, b; Secco & Lobo 1988; Porto & Silva 1989) e, oito anos depois, uma nova lista de espécies de plantas vasculares da Serra Norte foi publicada por Silva (1991), baseada quase exclusivamente em coletas da referida autora. Esta listagem, mais completa, apresenta 231 espécies de Angiospermas e uma espécie de Pteridófito, com destaque para as famílias Poaceae e Fabaceae, as mais ricas neste levantamento.

Esta representativa coleção da Serra dos Carajás no acervo do herbário MG foi o ponto de partida para a idealização do projeto Flora Rupestre de Carajás, iniciado por pesquisadores dessa Instituição (Silva *et al.* 1986). Resultados deste projeto foram publicados no formato de floras

regionais para grupos taxonômicos representativos, mas se restringiram às famílias Fabaceae (Silva 1993), e aos gêneros de gramíneas *Axonopus* P. Beauv. (Bastos 1991) e *Ichnanthus* P. Beauv. (Bastos 1993). Infelizmente, este projeto não avançou para maior abrangência taxonômica, como era planejado (Silva *et al.* 1986), e a flora da Serra dos Carajás, desde então, permanece insatisfatoriamente conhecida.

Após essa fase de estudos florísticos em Carajás, a região permaneceu carente de novas publicações com avaliação da sua riqueza florística, assim como diminuiu o ritmo de coletas depositadas em herbários oriundas da região. Entretanto, o histórico dos espécimes provenientes de Carajás presentes nos herbários foram fonte para a descrição de diversas novas espécies para a flora brasileira (e.g. Barroso & King 1971; Austin 1981; Burman & Bastos 1988; Kral 1988; Kral & Strong 1999), sendo grande parte destas conhecidas somente das formações ferríferas de Carajás.

Mais recentemente, no início dos anos 2000, herbários voltaram a receber coletas provenientes da Serra dos Carajás com maior intensidade, quando pesquisadores vinculados ao herbário BHCB da Universidade Federal de Minas Gerais participaram de estudos sobre a flora da região financiados pela Vale S/A em processos de licenciamento de empreendimentos minerais (Golder 2010). Durante a realização destes estudos, 4660 amostras de plantas de Carajás foram incorporadas ao acervo deste herbário, ultrapassando 1000 espécies associadas aos ambientes ferruginosos. O estudo dessas coletas permitiu o reconhecimento de uma série de novos táxons, como *Philodendron carajasense* E.G. Gonç. & A.J. Arruda (Gonçalves & Arruda 2013), *Borreria elaiosulcata* E.L. Cabral & L.M. Miquel, *B. carajasensis* E.L. Cabral & L.M. Miquel (Cabral *et al.* 2012) (Figura 4), *Blechnum areolatum* V.A.O. Dittrich & Salino (Dittrich *et al.* 2012), além de um novo gênero de Rubiaceae *Carajasia cangae* Salas *et al.* (Salas *et al.* 2015), uma espécie de um novo gênero de Melastomataceae (Franck Almeda, comunicação pessoal) e espécies ainda por descrever de Asteraceae, Cyperaceae, Passifloraceae, Poaceae, Orchidaceae, Gesneriaceae, Piperaceae, Isoetaceae e Rubiaceae, além da possibilidade de diversas outras pertencentes a famílias ainda não revisadas por especialistas.

Apesar do histórico de esforços de coletas botânicas nas formações rupestres de Carajás, grande parte dessas coleções ainda carecem de um detalhado estudo (Cabral *et al.* 2012). As listagens florísticas publicadas na região, apesar de extremamente importantes, trazem grande parte dos táxons não identificados até espécie (Silva *et al.* 1991, 1996) e, em alguns casos, identificações duvidosas, o que ressalta que as coleções provenientes da região nos herbários necessitam de estudos mais detalhados. Deve ainda ser considerado que muito se coletou na região desde a publicação da última lista florística, o que também indica a necessidade de uma reavaliação da riqueza e composição da flora dessa importante área de endemismo da flora amazônica. Uma compilação consistente de espécies endêmicas da região também inexistente na literatura, outro fato que aponta para a necessidade de organização do conhecimento florístico de Carajás, que vem sofrendo crescente impacto oriundo de atividades de mineração.

Todavia, uma breve análise de informações contidas em literatura e herbários aponta a ocorrência de mais de 40 espécies descritas a partir de material botânico coletado em Carajás, presumivelmente endêmicas da região. Merecem destaque dois gêneros monoespecíficos da

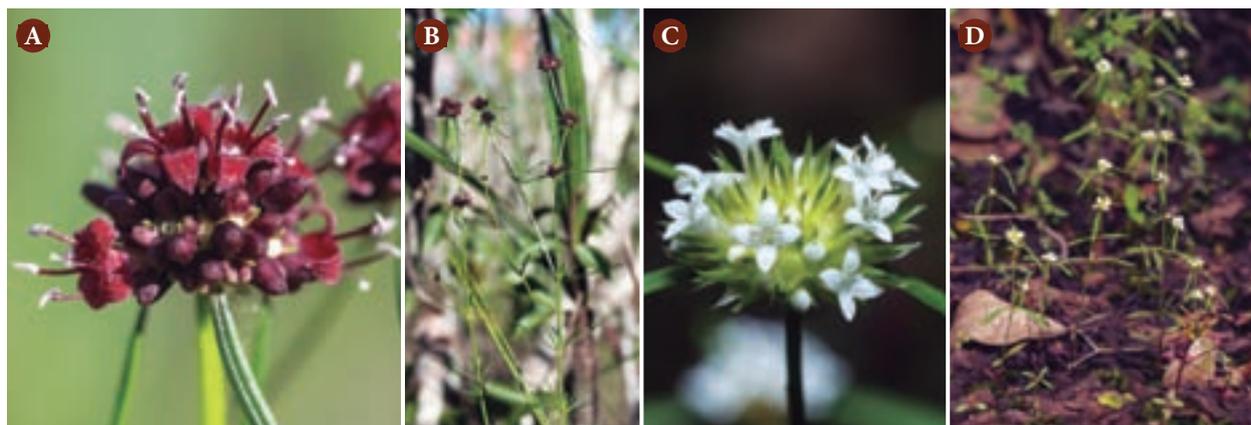


Figura 4 – Espécies de Rubiaceae recentemente descritas para a Serra dos Carajás. **A-B.** *Borreria elaiosulcata* **C-D.** *Mitracarpus carajasensis*.

família Asteraceae, *Monogereion* (*M. carajensis*) e *Parapiqueria* (*P. cavalcantei*), além de outras espécies de Asteraceae, Rubiaceae, Convolvulaceae, Cyperaceae, Fabaceae, Poaceae, Blechnaceae, Erythroxylaceae, Orchidaceae, Apocynaceae, Araceae, Bignoniaceae, Eriocaulaceae, Lentibulariaceae, Lythraceae, Picramniaceae, Rutaceae, Simaroubaceae, Thelypteridaceae, Thymelaeaceae e Xyridaceae (algumas ilustradas na Figura 5).

Enquanto algumas destas espécies são consideradas de ampla distribuição nas serras de Carajás, como *Perama carajensis* J.H. Kirkbr., *Monogereion carajensis*, *Ipomoea marabaensis* D.F. Austin & Secco, *Picramnia ferrea* Pirani & W.W. Thomas, *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* Barneby, *M. skinneri* var. *carajarum* Barneby, *Erythroxylum nelson-rosae* Plowman, *Utricularia physoceras* P.Taylor e *Xyris brachysepala* Kral, outras são mais restritas, ocorrendo em uma ou duas serras. Por exemplo, *Daphnopsis filipedunculata* Nevling & Barringer (Thymelaeaceae) e *Ipomoea cavalcantei* foram encontrados apenas em alguns blocos da Serra Norte (Golder 2010), enquanto *Carajasia cangae* foi encontrada apenas no bloco S11, Serra Sul (Salas *et al.* 2015).

Apesar das informações disponíveis sobre espécies conhecidas apenas para a região, uma lista precisa de espécies endêmicas de Carajás só poderá ser elaborada após minucioso estudo de todo o material proveniente da região contido nos herbários. É desejável também amplo esforço de coleta botânica em outras áreas de formações rupestres na Amazônia, especialmente no Estado do Pará. Estas áreas podem, eventualmente, abrigar alguns destes táxons, ampliando sua distribuição geográfica conhecida.

Uma precisa documentação da flora, acompanhada de estudos taxonômicos de diversos táxons da flora de Carajás, é atualmente tema de investigação de pesquisadores do Museu Paraense Emílio Goeldi, Universidade Federal de Minas Gerais e Instituto Tecnológico Vale, em parceria com especialistas em diversas famílias no Brasil. Neste contexto, foi reestabelecido o projeto “Flora Rupestre da Serra dos Carajás”, e espera-se, após os resultados consolidados, uma lista florística mais completa, incluindo chaves de identificação, descrições das espécies e uma listagem mais realista de espécies endêmicas da região.



Figura 5 – Espécies descritas para a Flora da Serra dos Carajás. **A.** *Lepidaploa paraensis* (Asteraceae) **B.** *Ipomoea marabensis* (Convolvulaceae) **C.** *Picramnia ferrea* (Picramniaceae) **D.** *Paspalum carajasense* (Poaceae) **E.** *Sporobolus multiramosus* (Poaceae) **F.** *Borreria semiamplexicaule* (Rubiaceae) **G.** *Perama carajensis* (Rubiaceae).

Cobertura vegetal

Nas montanhas ferruginosas da Serra dos Carajás ocorrem diferentes padrões ambientais, alguns com maior grau de repetição e amplas extensões, e outros de ocorrência isolada e pontual, formando um mosaico de formas vegetacionais que constituem o complexo rupestre desta região.

Considerando os ambientes ferruginosos da Serra dos Carajás, pode-se organizá-los em dois grandes grupos de tipologias vegetais: as fisionomias savânico-estépicas, abrangendo vegetações rupestres nas formas campestres, arbustivas e nanoflorestas decíduais, e as formações hidromórficas, as quais variam desde ambientes de alagamento temporário sobre carapaças de canga até lagos e brejos de acúmulo turfoso, onde populações de macrófitas aquáticas constituem variados arranjos fisionômicos.

A grande maioria das espécies registradas para Carajás possui distribuição restrita a alguma das fitofisionomias ou a sítios específicos dentro destas, havendo poucas de amplo espectro ambiental ocupando diferentes tipologias vegetais. Este é o caso, por exemplo, da gramínea *Axonopus leptostachyus* (Flüggé) Hitchc., observada em campos rupestres, matas baixas, bordas florestais ou mesmo em ambientes temporariamente alagados, e da parasita *Cassytha filiformis* L. (Lauraceae), presente sobre plantas dos campos gramíneos, campos rupestres e brejos. Muitas espécies compartilham os ambientes de campos rupestres e matas baixas, os quais possuem certas semelhanças quanto à restrição hídrica e aspectos de solo, o que não ocorre entre os extremos ambientais, como os campos brejosos e as formas vegetacionais rupestres.

A complexidade de formas vegetacionais, associada à diversidade de estruturas geomorfológicas, tem sido refletida diretamente nas diversas denominações e hierarquizações atribuídas à vegetação das montanhas ferruginosas de Carajás, priorizando a indicação de atributos diversos. Algumas denominações referem-se às comunidades vegetais estruturantes das fisionomias, a exemplo de “Campo rupestre de canga ferrífera com predomínio de *Vellozia*” (Golder & Vale 2009) e das 22 denominações utilizadas por Cleef & Silva (1994). Outras denominações se referem ao conjunto vegetacional, sem detalhar fisionomias, a exemplo de “vegetação de canga”, “campo rupestre”, “vegetação metalófila” ou “savana metalófila” (e.g. Silva *et al.* 1986a; Silva 1991; Porto & Silva 1989). No presente estudo, refere-se aos diversos ambientes com base em seus atributos fisionômicos, indicando, por vezes, aspectos de sua base rupestre.

Dentro deste quadro de complexidade fisionômica da cobertura vegetal da Serra dos Carajás, individualizam-se algumas fitofisionomias associadas às serras ferruginosas, salientando-se que formas intermediárias entre elas são comuns, e que muitas espécies ocorrem em mais de uma dessas fitofisionomias, sendo algumas espécies características de determinadas feições. A seguir é apresentada uma caracterização da vegetação sobre substrato ferrífero na Serra dos Carajás. Os nomes adotados para fitofisionomias são meramente descritivos, sem a pretensão de proposição de um sistema de classificação para a vegetação da região.

1. Vegetação rupestre ferruginosa

Esta forma vegetacional é a mais comum nas Serras dos Carajás, estando presente em todas as serras sobre solos rasos, podendo haver rochas expostas como blocos rochosos de diversos tamanhos na forma de *tálus*, de pequenos fragmentos de canga sobre o solo (canga nodular) ou como carapaças lateríticas (canga couraçada). Sobre cada um desses padrões de estrutura edáfica se desenvolve uma subtipologia rupestre, com comunidades botânicas próprias e aspectos fisionômicos que a distinguem das demais.

Dependendo da estrutura geomorfológica, esses três padrões podem ocorrer próximos ou entremeados, criando um mosaico de formas vegetacionais que constituem a vegetação rupestre das serras de Carajás. Em geral, os ambientes com blocos rochosos ruiformes ocorrem em encostas, e as áreas com canga nodular e couraçada formam superfícies mais planas.

Devido à maior ocorrência de áreas com blocos rochosos dispersos, predomina a fisionomia arbustiva típica desses locais, enquanto sobre as cangas couraçadas se estabelecem campos rupestres constituídos por indivíduos espaçados e nos locais de canga nodular concentram-se campos gramíneos.

Dado o predomínio da vegetação rupestre arbustiva na Serra dos Carajás e seu caráter de intensa caducifolia, o aspecto geral da vegetação na época seca se assemelha bastante às caatingas nordestinas, o que ainda é mais destacado pela presença de indivíduos do cacto *Cereus hexagonus* (L.) Mill. em alguns locais. Em outros espaços, pequenas árvores ocorrem pouco mais espaçadas sobre uma superfície coberta por gramíneas, imprimindo à paisagem aspectos savânicos. Daí a denominação frequente de vegetação savânica-estépica à vegetação, ou mesmo de savana metalófila.

Desta forma, distinguem-se as seguintes subtipologias de vegetação rupestre nas serras ferruginosas de Carajás, salientando que formas intermediárias e mistas são frequentes.

1.1 Vegetação rupestre arbustiva

Cobrindo as porções rampadas do alto das serras ferruginosas com grande presença de rocha exposta na forma de blocos ou superfícies laterizadas, esta vegetação de fisionomia predominantemente arbustiva possui elevada densidade de plantas (Figura 6), onde populações de diversas espécies dividem o espaço, havendo locais com predominância de uma ou outra. Entre as espécies formadoras desta vegetação rupestre estão *Vellozia glochidea* Pohl (Velloziaceae), *Lippia organoides* Kunth (Verbenaceae), *Noranthea guianensis* Aubl. (Marcgraviaceae), *Lepidaploa* cf. *arenaria* (Mart. ex DC.) H. Rob., *Cuphea carajasensis* Lourteig (Lythraceae), *Croton* sp., *Sapium glandulosum* (L.) Morong (Euphorbiaceae), *Bauhinia pulchella* Benth., *Periandra mediterranea* (Vell.) Taub. (Fabaceae), *Byrsonima* cf. *spicata* (Cav.) Rich. ex Kunth, (Malpighiaceae), *Erythroxylum ligustrinum* var. *carajasense* Plowman (Erythroxylaceae), *Anemopaegma* sp. (Bignoniaceae), *Turnera glaziovii* Urb., *Turnera melochioides* Cambess (Turneraceae), *Borreria carajasensis*, *B. elaiosulcata*, *B. semiamplexicaule* (Rubiaceae), etc.



Figura 6 – Vegetação rupestre ferruginosa. **A.** Vegetação rupestre arbustiva durante o período chuvoso, com destaque para a espécie *Noranthea guianensis* (Marcgraviaceae) em plena floração **B.** Vegetação rupestre arbustiva durante o período chuvoso **C.** Vegetação rupestre arbustiva em período de seca **D.** Ao fundo, vegetação rupestre arbustiva em período de seca.

No estrato herbáceo estão presentes as orquídeas *Catasetum planiceps* Lindl., *Epidendrum purpurascens* H.Fockef e *E. nocturnum* Jacq., ocupando, em geral, a base dos blocos rochosos, as volúveis *Jacquemontia tamnifolia* (L.) Griseb., *Ipomoea carajasensis* (Convolvulaceae), *Dioclea apurensis* Kunth e *Galactia jussiaeana* Kunth (Fabaceae), e diversas gramíneas, entre as quais predominam *Axonopus leptostachyus* e *Paspalum cinerascens* (Doell) A.G.Burm. & M.N.Bastos.

Diversas espécies presentes nos ambientes rupestres são delicadas plantas anuais, instalando-se no período da chuva e secando completamente na estação seca, algumas das quais se estabelecem, não exclusivamente, mas preferencialmente, sobre as rochas expostas. Este é caso do gênero endêmico monoespecífico *Monogereion carajensis* (Asteraceae), da espécie do novo gênero da família Melastomataceae em processo de descrição, da endêmica *Perama carajensis* (Rubiaceae) e de *Begonia humilis* Dryand. (Begoniaceae), as quais no período úmido (entre dezembro e maio) cobrem muitos dos blocos rochosos.

1.2 Campo rupestre sobre canga couraçada

Em diversos locais, mas em geral não cobrindo grandes extensões, o substrato rochoso encontra-se na forma de uma carapaça laterítica com rachaduras diversas. A vegetação se mostra raleada sobre a canga couraçada e concentrada nas fissuras da rocha (Figura 7).

Nesses locais predomina o relevo plano, ocorrendo, frequentemente, associação com poças temporárias, podendo mesmo formar rasas lagoas efêmeras. A proximidade entre locais de rápida drenagem e locais de acúmulo de água permite o estabelecimento vizinho de espécies com diferentes níveis de exigência em disponibilidade hídrica.

Nesses campos rupestres sobre canga couraçada estão presentes desde espécies de ambientes mais xéricos, como *Dyckia duckei* (Bromeliaceae), *Mandevilla tenuifolia* (Apocynaceae), *Portulaca* cf. *brevifolia* Urb., *Carajasia cangae* (Rubiaceae), as espécies anuais como *Monogereion carajensis* e a espécie do novo gênero da família Melastomataceae em processo de descrição. Em



Figura 7 – Vegetação rupestre ferruginosa. **A.** Campo rupestre sobre canga couraçada com predomínio de *Vellozia glochidea* (Velloziaceae) **B.** Campo rupestre sobre canga couraçada com presença de *Mandevilla tenuifolia* (Apocynaceae) **C.** Detalhe da canga couraçada com a presença de *Utricularia physoceras* **D.** Campo rupestre sobre canga couraçada com presença *Philodendron wulfschlaegelii* (Araceae) **E.** Detalhe da canga couraçada com a presença de *Carajasia cangae* (Rubiaceae).

poças temporárias podem desenvolver-se diversas espécies de Lentibulariaceae, como *Utricularia physoceras* e *U. subulata* L., e de Cyperaceae, como *Bulbostylis* spp., *Scleria* spp. e *Rhynchospora acanthoma* A.C.Araújo & Longhi-Wagner.

Nas frestas, é comum o estabelecimento de diversas espécies dos campos rupestres arbustivos e também das matas baixas, destacando-se a presença de *Philodendron wulfschlaegelii* Schott (Araceae) e *Norantea guianensis* (Marcgraviaceae), as quais, enraizadas nessas fissuras que favorecem acúmulo de solo, espalham seus ramos sobre as rochas.

1.3 Campo rupestre sobre canga nodular

Nesta fisionomia campestre predomina o aspecto graminoso e, devido a seu relevo predominantemente plano, é comum na época chuvosa o acúmulo de uma pequena lâmina de água, beneficiando a instalação de diversas espécies anuais de macrófitas aquáticas (Figura 8).



Figura 8 – Vegetação rupestre ferruginosa. **A.** Vegetação sobre canga nodular, campo graminoso em período chuvoso **B.** Vegetação sobre canga nodular, campo graminoso em período de seca **C.** Vegetação sobre canga nodular, campo graminoso com predomínio da espécie *Paspalum lanciflorum* (Poaceae) **D.** Vegetação sobre canga nodular, campo dominado pela espécie *Bulbostylis carajana* (Cyperaceae).

Além de diversas gramíneas, entre elas algumas espécies dos gêneros *Axonopus*, *Mesosetum* Steud. e *Trichantheium* Zuloaga & Morrone, ocorrem também diversas ciperáceas, a exemplo de *Bulbostylis carajana* Kral & M.T.Strong e *Rhynchospora acanthoma*, e outras monocotiledôneas que contribuem para o aspecto graminoide desta vegetação, como *Xyris brachysepala* e *Cipura* sp. (Iridaceae). Diversas outras espécies também se fazem presentes nesses campos rupestres sobre canga nodular, a exemplo de *Borreria elaiosulcata*, *Riencourtia pedunculosa* (Rich.) Pruski, uma possível nova espécie de *Habenaria* Willd., a espécie do novo gênero de Melastomataceae, entre outras.

1.4 Mata Baixa

Esta fitofisionomia encontra-se estreitamente associada à vegetação rupestre arbustiva, com a qual compartilha muitas das espécies e o aspecto de intensa caducifolia. Diferencia-se pela maior presença de espécies arbóreas, cujo dossel atinge entre 4 e 6 m, de epífitas e de espécies mais exigentes em sombra.

A Mata Baixa também mantém relação estreita com a floresta ombrófila do entorno das serras ferruginosas ou existentes na forma de capões no topo das serras, havendo variação gradativa na fisionomia e na comunidade botânica entre estas formas vegetacionais (Figura 9).

No dossel predominam as espécies *Callisthene* cf. *minor* Mart. (Vochysiaceae), *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* (Fabaceae), *Alchornea discolor* Poepp. & Endl. (Euphorbiaceae), *Myrcia guianensis* (Aubl.) DC., *M. multiflora* (Lam.) DC. e *Eugenia flavescens* DC. (Myrtaceae), além da presença de *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. (Annonaceae), *Jacaranda ulei* Bureau & K.Schum. (Bignoniaceae), *Clusia leprantha* Mart. (Clusiaceae), *Cochlospermum orinocense* (Kunth) Steud. (Bixaceae), *Picramnia ferrea* (Picramniaceae), *Cupania diphylla* Vahl, *Matayba guianensis* Aubl. (Sapindaceae) e *Pouteria gardneri* (Mart. & Miq.) Baehni (Sapotaceae), entre outras. A presença eventual do cacto *Cereus hexagonus* é verificada em algumas áreas, o que imprime à paisagem uma semelhança fisionômica com as caatingas nordestinas.

No sub-bosque é comum a presença do arbusto *Pilocarpus microphyllus* Stapf (Rutaceae), denominado popularmente como jaborandi, que representa um importante produto de extrativismo por populações locais, sendo comercializado com indústrias farmacêuticas. Esta espécie, além da Mata Baixa, ocorre também em outras florestas decíduais da região de Carajás.

Formando o estrato herbáceo estão algumas espécies comuns à vegetação rupestre arbustiva, como as orquídeas *Catasetum planiceps*, *Epidendrum purpurascens* e *E. nocturnum*, e as bromélias *Ananas annanassoides* (Baker) L.B.Sm. e *Aechmea tocantina* Baker, além das endêmicas *Monogereion carajensis* (Asteraceae) e a espécie do novo gênero de Melastomataceae, assim como as espécies *Begonia humilis* (Begoniaceae) e *Anthurium lindmanianum* Engl. (Araceae), entre outras.

Outras espécies herbáceas possuem seu ótimo ambiental nas matas baixas e bordas florestais das encostas dos platôs ferruginosos, a exemplo das pteridófitas *Blechnum longipilosum* V.A.O.Dittrich & Salino e *B. areolatum*, descritas a partir de material recém-coletado em Carajás, das gesneriáceas *Phinaea albolineata* Benth. ex Hemsl. e novas espécies, a serem descritas, de *Sinnigia* Nees (Gesneriaceae) e de *Peperomia* Ruiz e Pav. (Piperaceae), sendo todas estas rupícolas.



Figura 9 – Vegetação rupestre ferruginosa. **A.** Mata Baixa durante período chuvoso **B.** Mata Baixa em período de seca **C.** Destaque para *Callisthene* cf. *minor* (Vochysiaceae), espécie comum nas matas baixas **D.** Interior de Mata Baixa com destaque para a espécie de cacto *Cereus hexagonus* servindo como forófito para *Tillandsia streptocarpa* (Bromeliaceae).

Plantas epífitas são também comuns nessas Matas Baixas, com destaque para *Tillandsia paraensis* Mez. e *T. streptocarpa* Baker (Bromeliaceae), *Polystachya* cf. *foliosa* Rchb.f. (Orchidaceae) e outras orquídeas e bromélias que podem desenvolver-se como epífitas ou rupícolas.

Uma forma particular de comunidade vegetal nas Matas Baixas são os “jardins de formigas”, que são concentrações de formigueiros arbóreos colonizados por diversas plantas, dentre as quais se destacam *Peperomia macrostachya* A.Dietr. (Piperaceae) e *Codonanthopsis crassifolia* (H.Focke) Chautems & Mat.Perret (Gesneriaceae).

2. Vegetações hidromórficas

Como vegetações hidromórficas, estão inseridas as comunidades botânicas que se instalam em locais com acúmulo de água, temporário ou permanente, e em drenagens intermitentes. A exceção desses últimos, em geral, cada unidade dos ambientes úmidos possui formato arredondado ou ovalado, relevo levemente côncavo e área que pode variar de poucos metros a não mais que dez hectares, ficando a maior parte delas entre algumas centenas de metros a dois hectares.

Apresentam intensa sazonalidade no volume de água, possuindo gradientes de inundação das bordas para o centro, que decorrem em marcante zonalidade espacial e temporal nas comunidades botânicas.

Nesses ambientes, as variações fisionômicas e florísticas são tão amplas quanto são os gradientes na periodicidade de inundação, no nível da coluna de água, no tipo de substrato e na influência de organismos estruturadores das comunidades botânicas, como por exemplo as antas (*Tapirus terrestris*), usuários frequentes das formações hidromórficas do topo das serras de Carajás.

Estas áreas variam desde aquelas com rala colonização vegetal, até campos gramíneos, brejos arbustivos, vegetação flutuante, buritizais e matas paludosas, havendo grande número de espécies anuais adaptadas aos mais diferentes níveis e ritmos de inundação. Durante o período de seca (maio a outubro), muitas espécies desaparecem ou apenas as estruturas subterrâneas permanecem em latência. Em decorrência de variações climáticas entre ciclos anuais, essa comunidade botânica efêmera também pode variar em um mesmo local de um ano para outro.

Apesar da grande variação desses ambientes úmidos na região de Carajás, da existência de diversas situações intermediárias e outras tantas mistas, agrupam-se os ambientes hidromórficos em alguns padrões fisionômicos, referidos como campos brejosos, lagoas intermitentes, lagoas temporárias, cursos d'água intermitentes, buritizais e matas paludosas. Salienta-se, ainda, que é comum haver significativa variação na composição da flora entre áreas nomeadas da mesma forma e espécies que habitam formas fisionômicas distintas.

2.1 Campos brejosos

Caracterizados pelo grande acúmulo de sedimentos orgânicos no substrato e manutenção de inundação permanente ou semipermanente, os campos brejosos possuem fisionomia predominante de denso estrato herbáceo, sendo marcante a zonalidade do arranjo espacial das espécies em cada uma das unidades caracterizada por esta fitofisionomia (Figura 10).

Nesses ambientes paludosos é comum o predomínio de espécies do gênero *Eleocharis*, muitas vezes acompanhadas de outras ciperáceas, como *Cyperus haspan* L., *Rhynchospora barbata* Kunth, *R. corymbosa* (L.) Britton e *R. holoschoenoides* (Rich.) Herter, além de *Pterolepis trichotoma* (Rottb.) Cogn. (Melastomataceae), *Eriocaulon* spp. (Eriocaulaceae), *Waltheria indica* L. (Malvaceae), *Xyris macrocephala* Vahl (Xyridaceae) e *Mayaca fluviatilis* Aubl. (Mayacaceae).

Espécies arbustivas se restringem quase somente a *Miconia chamissois* Naudin (Melastomataceae), *Ludwigia* spp. (Onagraceae) e *Aeschynomene rudes* Benth. (Fabaceae), além de outras poucas, variando o padrão de ocorrência entre indivíduos isolados à forma agrupada, que no caso da primeira espécie chega a formar densos arbustais brejosos.

Destaca-se em alguns campos e brejos a presença das palmeiras *Mauritia flexuosa* L.f. e *Mauritiella armata* (Mart.) Burret, em agrupamentos que variam de poucos indivíduos em uma extremidade do corpo brejoso a locais de elevada densidade dessas plantas, sendo a concentração

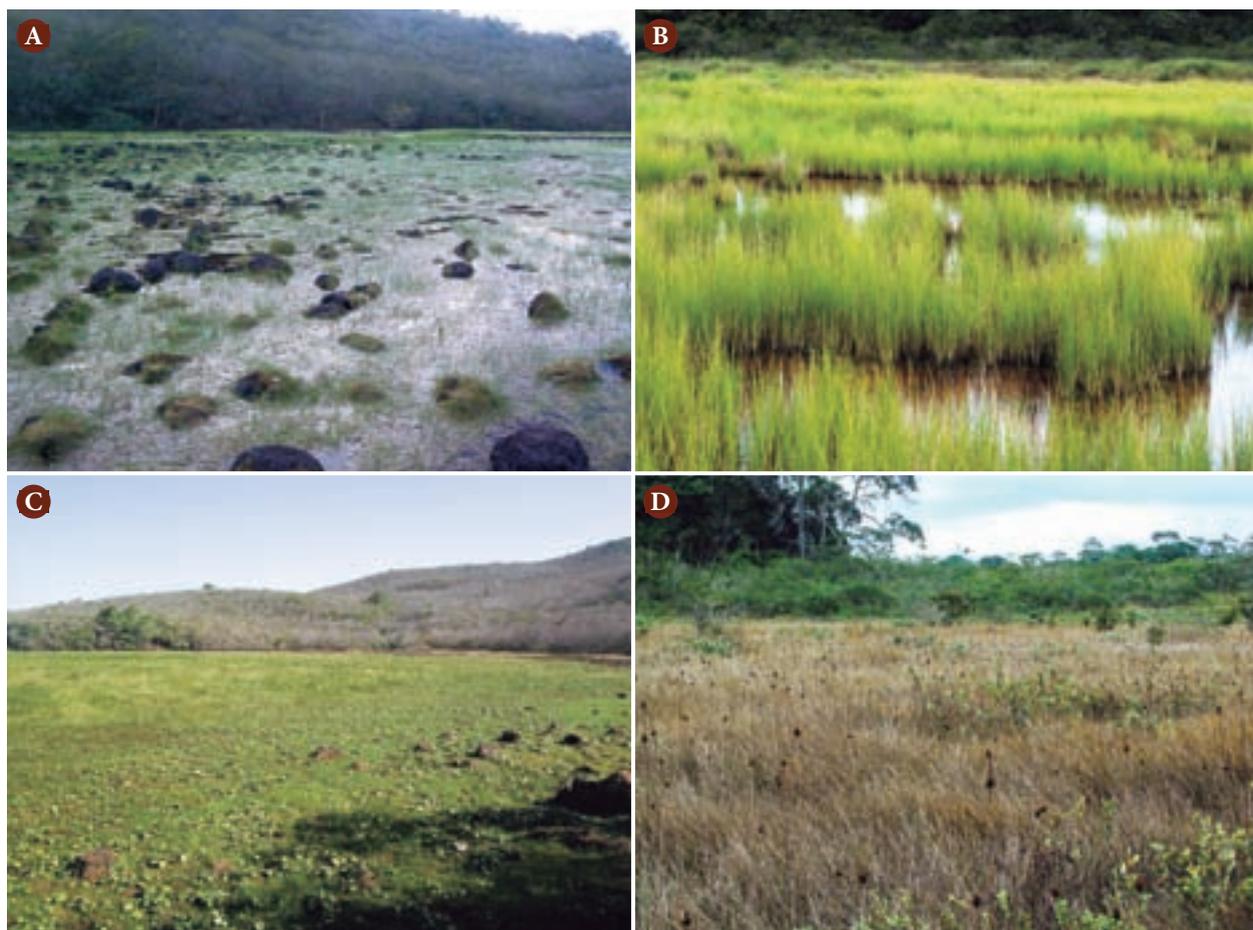


Figura 10 – Vegetação hidromórfica. **A.** Campos brejosos durante o período chuvoso **B.** Campo brejo em período chuvoso com predominância da gramínea *Rhynchne gonzalezii* **C.** Campo brejoso formado em lagoa temporária durante o período seco **D.** Campo brejoso no período de seca com indivíduos de *Xyris macrocephala* (Xyridaceae) em dispersão.

dessas plantas denominadas, respectivamente, como buritizais e buritiranais. Pelo aspecto marcante dessas palmeiras na paisagem, os corpos brejosos com sua presença são classificados em item específico, apesar do compartilhamento das espécies do estrato herbáceo com os campos brejosos.

Um aspecto característico dos campos brejosos de Carajás é a presença de algumas espécies encontradas em apenas um corpo brejoso, a exemplo de *Hibiscus bifurcatus* Cav. (Malvaceae), *Aniseia martinicensis* (Jacq.) Choisy (Convolvulaceae), ambas em brejos da Serra da Bocaina, e *Nepsera aquatica* (Aubl.) Naudin (Melastomataceae) em N1.

Em corpos brejosos intensamente utilizados pelas antas, observa-se a formação de trilhas demarcadas pela exposição do espelho d'água em alguns casos ou pela colonização vegetal diferenciada em outros, quando é comum a presença de *Mimosa skinneri* var. *carajarum* (Fabaceae), *Trichanthecium parvifolium* (Lam.) Zuloaga & Morrone (Poaceae) e *Riencourtia pedunculosa* (Rich.) Pruski (Asteraceae) nas trilhas desses animais.

2.2 Lagoas temporárias

Com grau de sazonalidade diferenciado, em muitos locais dos topos planos das serras ferruginosas de Carajás alternam-se lagoas rasas no período chuvoso e solos expostos e ressecados no estio. Nesses ambientes de drástica alternância de disponibilidade hídrica, comunidades anuais se instalam a cada temporada, podendo variar sua composição florística entre locais, dentro do mesmo corpo e mesmo ao longo do ciclo anual (Figura 11).

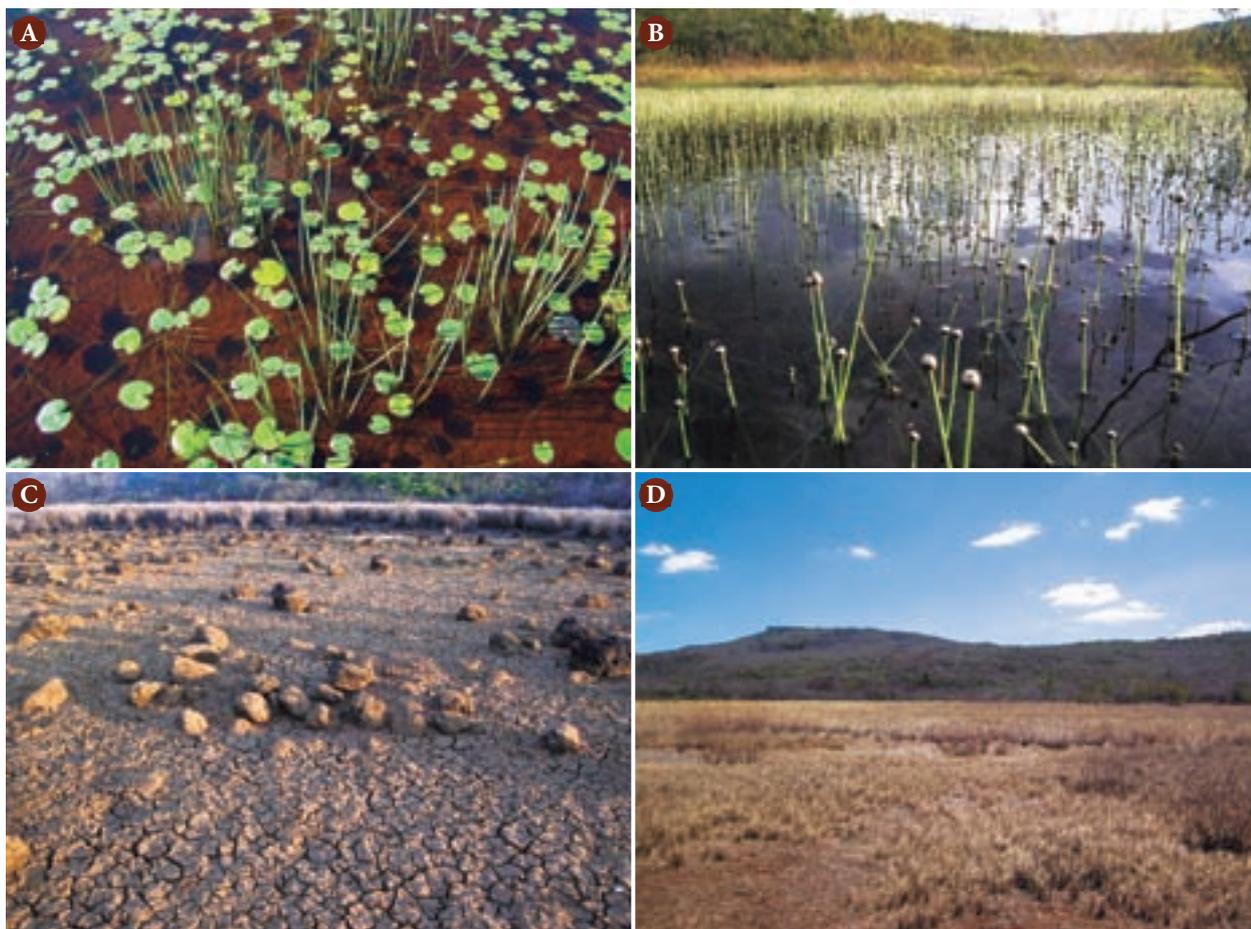


Figura 11 – Vegetação hidromórfica. **A.** Lago temporária em período chuvoso com presença de *Nymphoides indica* (Menyanthaceae) e *Eleocharis* sp. (Cyperaceae) **B.** lago temporária com presença de *Eriocaulon* sp. (Eriocaulaceae) **C** e **D.** Lagoas temporárias em período seco.

Entre as espécies que constituem a comunidade vegetal das lagoas temporárias estão diversas anuais de destaque, formando concentrações populacionais de belo efeito ornamental. Entre essas espécies estão *Eriocaulon carajense* Moldenke, *E. cinereum* R.Br., *Syngonanthus caulescens* (Poir.) Ruhland (Eriocaulaceae), *Lindernia brachyphylla* (Linderniaceae), *Bacopa monnierioides* B.L.Rob., *B. reflexa* (Benth.) Edwall (Plantaginaceae), *Luziola divergens* Swallen (Poaceae), *Xyris*

brachysepala (Xyridaceae), *Nymphoides indica* (L.) Kuntze (Menyanthaceae), *Mimosa skinneri* var. *carajarum* (Fabaceae), *Burmannia capitata* Mart., *B. flava* Mart. (Burmaniaceae), *Bulbostylis carajana* (Cyperaceae), *Schultesia benthamiana* Klotzsch ex. Griseb. (Gentianaceae), *Aciotis paludosa* Triana, *Pterolepis trichotoma* (Melastomataceae) e novas espécies a serem descritas dos gêneros *Isoetes* L. (Isoetaceae) e *Eleocharis* R. Br. (Cyperaceae).

2.3 Lagoas perenes

Algumas lagoas existentes no bloco de serras denominado como Serra Sul, na Flona Carajás, mantêm sua coluna de água por todo o ciclo anual (Figura 12), mesmo reduzindo drasticamente seu volume no período seco do ano. São denominadas localmente como Lagoa do Violão, do Amendoim, das Macrófitas e Três Irmãs. No passado existiram pelo menos duas lagoas perenes na Serra Norte, uma no corpo N4 e outra no corpo N5, ambas eliminadas por atividades de mineração.

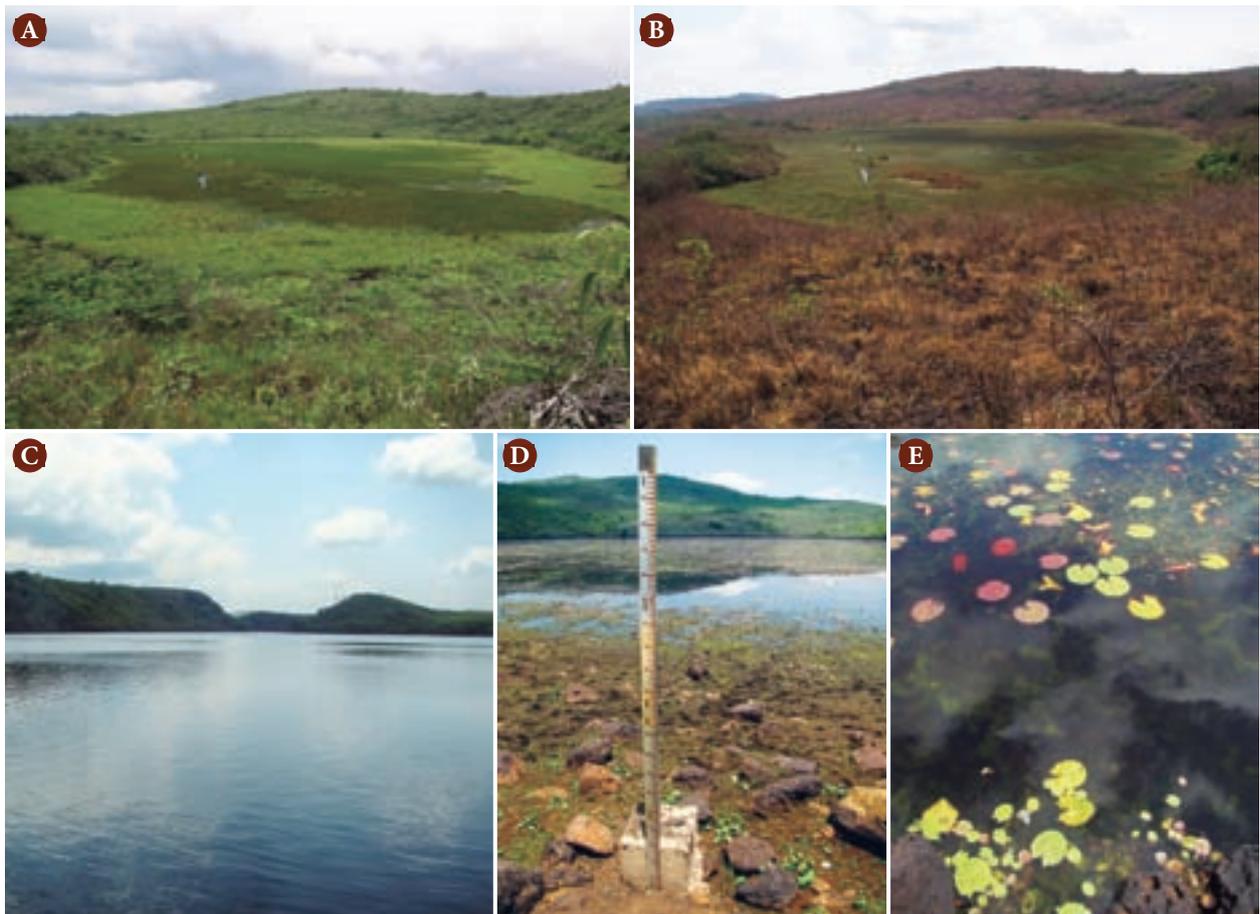


Figura 12 – Vegetação hidromórfica. **A** e **B**. corpos brejosos em N1 **C**. Lagoa perene do violão **D**. Lagoa perene indicando pela régua a variação na coluna d'água **E**. Lagoa perene com a presença de *Cabomba furcata* (Cabombaceae) e *Nymphaea rudgeana* (Nymphaeaceae).

Das lagoas perenes remanescentes, apenas a Lagoa das Macrófitas possui presença relevante de plantas, como o próprio nome já sugere. Nela são encontradas as espécies *Sagittaria pugioniformis* L., *S. rhombifolia* Cham. (Alismataceae), *Cabomba furcata* Schult. & Schult.f. (Cabombaceae), *Mayaca fluviatilis* Aubl. (Mayacaceae), *Nymphoides indica* (Menyanthaceae), *Nymphaea rudgeana* G.Mey. (Nymphaeaceae), entre outras.

Já nas demais lagoas, com profundidade média maior que a anterior, as macrófitas estão restritas às suas margens, ocorrendo eventualmente *Mayaca fluviatilis* (Mayacaceae), *Paepalanthus fasciculoides* Hensold e mesmo *Monogereion carajensis* (Asteraceae), que, apesar de não ser planta aquática, suporta níveis de inundação. Também associada às lagoas perenes, destaca-se uma nova espécie de *Isoetes* (Isoetaceae) em processo de descrição, da qual existe apenas uma referência para a Lagoa do Amendoim, situada na Serra Sul (Arruda, com. pessoal).

2.4 Curso d'água intermitente

Diversos cursos d'água intermitentes se formam nos topos das serras ferruginosas de Carajás durante os períodos chuvosos, possuindo volume de água e velocidade de escoamento diferenciados. Nesses ambientes são encontradas algumas espécies anuais como *Lindernia brachyphylla* (Linderniaceae), *Utricularia neottioides* A.St.-Hil. & Girard, *U. physoceras*, *U. subulata* (Lentibulariaceae) e *Axonopus capillaris* (Lam.) Chase (Poaceae) (Figura 13).

2.5 Buritizais e buritiranais

Populações das palmeiras buriti *Mauritia flexuosa* e buritirana *Mauritiella armata* (Arecaceae) são comuns em alguns ambientes brejosos, ocorrendo às vezes separadas e em outras misturadas, com poucos indivíduos ou em densos agrupamentos (Figura 14). Sempre dividem a comunidade com espécies herbáceas, variando entre densas concentrações da samambaia *Blechnum serrulatum* Rich. (Blechnaceae) ou *Eleocharis sellowiana* Kunth (Cyperaceae), a locais de maior riqueza, onde espécies comuns aos campos brejosos podem estar presentes.

Arbustos como *Miconia chamissois* Naudin (Melastomataceae), *Ludwigia hyssopifolia* (G.Don) Exell, *L. nervosa* (Poir.) H.Hara (Onagraceae) e *Aeschynomene rudis* são também comuns em meio aos buritizais e buritiranas.

Em locais onde a lâmina de água se faz presente, pode-se observar a ocorrência de *Eriocaulon* spp. (Eriocaulaceae), *Apalanthe granatensis* (Bonpl.) Planch. (Hydrocharitaceae) e *Mayaca fluviatilis* Aubl. (Mayacaceae).

Espécies arbóreas também podem estar presentes em meio a essas palmeiras, mas, em geral, em pequeno número e com poucas espécies, restringindo-se a *Calophyllum brasiliense* Cambess. (Clusiaceae), *Styrax pallidus* A.DC. (Styracaceae), *Virola surinamensis* Warb. (Myristicaceae) e *Symphonia globulifera* L.f. (Clusiaceae).



Figura 13 – Vegetação hidromórfica. **A.** Curso d'água intermitente durante período chuvoso em meio à formação arbustiva **B.** Curso d'água intermitente durante período chuvoso **C.** Curso d'água intermitente durante período de seca **D.** Curso d'água intermitente durante período de seca no interior de mata de encosta.

Eventualmente, também lianas são observadas crescendo sobre as árvores e arbustos desta fisionomia, a exemplo de *Desmoncus polyacanthos* Mart. (Arecaceae), *Mikania divaricata* Poepp. & Endl. (Asteraceae), *Jacquemontia tamnifolia* (L.) Griseb. (Convolvulaceae) e *Mandevilla scabra* (Hoffmanns. ex Roem. & Schult.) K. Schum. (Apocynaceae).

2.6 Mata paludosa

Ambientes arbóreos sobre substrato turfoso ocorrem em raras ocasiões nas Serra dos Carajás, estando algumas vezes associados a buritizais, onde podem margear essas comunidades. Dentre as poucas áreas com esta formação, destaca-se uma mancha na forma de capão florestal, na porção central da Serra Sul, e outra no meio da encosta da face sul deste mesmo bloco de serra.

Todas as espécies arbóreas relacionadas, no item anterior, aos buritizais e buritiranais são formadoras dessas matas paludosas, a exemplo de *Calophyllum brasiliense* Cambess. (Clusiaceae),



Figura 14 – Vegetação hidromórfica. **A.** Buritizal na Serra Sul **B.** Buritizal, em destaque *Hibiscus bifurcatus* (Malvaceae) **C.** Buritiranais com destaque para a dominância da samambaia *Blechnum serrulatum* (Blechnaceae) no estrato herbáceo. **D.** Buritiranais com predominância de Poaceae no estrato herbáceo.

Styrax pallidus A.DC. (Styracaceae), *Virola surinamensis* Warb. (Myristicaceae) e *Symphonia globulifera* L.f. (Clusiaceae). No caso da área da meia encosta, também ocorre a palmeira *Euterpe oleracea* Mart. (Arecaceae).

3. Florestas associadas às serras ferruginosas

Além das florestas paludosas, conforme descrito no item anterior, em meio à vegetação rupestre das serras ferruginosas, na forma de capões isolados, ou bordejando o topo da serra, ambientes florestais se fazem presentes, tendo como característica o porte menor que as florestas das planícies e a presença marcante de blocos rochosos em meio ao sub-bosque. Muitas vezes, essas florestas estão associadas a escarpas rochosas e/ou ocorrência de cavidades (Figura 15).



Figura 15 – Florestas associadas às serras ferruginosas. **A.** Floresta marginal a lagoa permanente **B.** Interior de floresta na Serra da Bocaina **C.** Vista da floresta próximo a encosta da formação ferruginosa.

Em geral, as espécies que compõem o estrato arbóreo são comuns às florestas ombrófilas do sopé da serra, a exceção de poucas, como *Tachigali paniculata* Aubl. (Fabaceae), *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. (Annonaceae) e *Jacaranda carajasensis* A.H.Gentry (Bignoniaceae).

No entanto, o estrato herbáceo possui diversas especificidades, o que se relaciona diretamente à presença de blocos rochosos de diversas formas e tamanhos, que disponibilizam sítio diferenciado ao estabelecimento de plantas.

Pteridófitas, como *Blechnum areolatum* e *B. longipilosum* (Blechnaceae), *Elaphoglossum flaccidum* (Fée) T.Moore (Dryopteridaceae) e *Oleandra pilosa* Hook. (Oleandraceae), assim como *Begonia wollnyi* Herzog (Begoniaceae), uma pequena *Peperomia* sp. nov. (Piperaceae) e diversas gesneriáceas, como *Phinaea albolineata* e uma pequena e bela nova espécie de *Siningia*, são encontradas sobre as rochas ferruginosas presentes no interior da floresta.

Perspectivas e ações futuras

Uma iniciativa extremamente importante é a revisão da lista de espécies da vegetação associada ao substrato ferruginoso das Serras de Carajás. Como ponto de partida para quaisquer estudos sobre a flora ou planejamento de manejo e conservação dos recursos florísticos da região, é essencial uma coleção de referência da Serra dos Carajás organizada, bem identificada e disponível em herbários. A lista atualizada, destacando endemismos, raridades e nuances dessa flora extremamente singular é relevante para indicar estratégias de preservação e valorar o real impacto da mineração sobre esse ecossistema. Dados de distribuição e ecologia das espécies dentro da Flona Carajás subsidiariam ações de manejo e também auxiliariam na detecção de *hotspots* dentro das cangas de Carajás.

A atualização da coleção de Carajás vem sendo executada por pesquisadores do Museu Paraense Emílio Goeldi, do Instituto Tecnológico Vale e Universidade Federal de Minas Gerais, associados ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), com colaboração de taxonomistas diversos do Brasil e do exterior.

Não obstante o grau ainda incipiente da organização do conhecimento da flora da Serra dos Carajás, a vegetação rupestre ferruginosa vem sofrendo forte ameaça pela atividade de mineração no interior da Flona Carajás, ressaltando a grande concentração de minério de alto teor sob este ecossistema rupestre. Embora esta UC exerça importante papel na conservação da biodiversidade regional e se apresente no cenário nacional como uma das áreas com os maiores remanescentes de vegetação sobre substrato ferruginoso, ela também se destaca por abrigar a maior província mineral do mundo, onde é intensa a extração de ferro, cobre e outros minerais.

Apesar das atividades minerárias utilizarem menos de 2% da área da Flona Carajás, a pressão sobre a vegetação sobre canga é extrema, uma vez que este ecossistema está presente em apenas 3% da Flona, coincidindo com os espaços de concentração das cavas (SCTP 2003). Diversas áreas cobertas de canga estão em processo de licenciamento para implantação de novas minas, como S11D e N4, não havendo, até o momento, uma definição de zoneamento que aponte áreas de vegetação ferruginosa (canga) destinadas à conservação.

A atividade minerária tem um reflexo profundo na composição da paisagem e na dinâmica ecológica desta unidade de conservação, uma vez que, além de suprimir a cobertura vegetal, altera completamente o substrato do qual depende o funcionamento do ecossistema. O mesmo se irradia em diferentes frentes, o que promove um efeito de alteração da composição das comunidades adjacentes a esse impacto, afetando a riqueza e abundância das espécies ali estabelecidas.

Desenvolvendo-se diretamente sobre as rochas ferruginosas ou associadas às dinâmicas hídricas estabelecidas pelas estruturas de relevo, permeabilidade e escoamento de água pluvial, a vegetação das serras dos Carajás depende diretamente da conservação desses aspectos naturais. Ações de reabilitação e revegetação pós-mineração não alcançam a reconstrução desta mesma base de sustentação do ecossistema, inviabilizando o restabelecimento da vegetação ferruginosa.

Tanto a revisão da flora da Serra dos Carajás, como um zoneamento para Flona Carajás que garanta a conservação de testemunhos de canga, estão em desenvolvimento, sendo ambos essenciais para estabelecer normas para que se concilie o uso dos recursos minerais com a conservação nesta UC. Entretanto, o novo zoneamento, apesar dos muitos esforços do ICMBio por meio de seus gestores, ainda carece de maior mobilização da sociedade em geral e em especial da comunidade científica e dos órgãos ambientais para que as atividades minerais e as áreas de conservação tenham seus limites definidos.

Desta maneira, diante da intensa pressão econômica mundial por matérias-primas, em particular o ferro, faz-se necessária a definição de áreas de conservação permanente para as formações rupestres da Serra dos Carajás, visando à conservação deste ecossistema extremamente singular na Amazônia e no Planeta.

Referências Bibliográficas

Ab'Saber, A.N. 1986. Geomorfologia da região. *In: Carajás: Desafio Político, Ecologia e Desenvolvimento*. São Paulo: Brasiliense / Brasília: CNPq. p. 88-124.

Austin, D.F. 1981. Novidades nas Convolvulaceae da flora amazônica. *Acta Amazonica*, 11(2): 291–295.

Barroso, G.M. & King, R.M. 1971. New taxa of Compositae (Eupatorieae) from Brazil. *Brittonia*, 23(2): 118-121.

Bastos, M.N.C. 1991. A flora “rupestre” da Serra de Carajás (Gramineae): II gênero *Axonopus* P. Beauv. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi, Série Botânica*, 7: 473-483.

Bastos, M.N.C. 1993. A flora “rupestre” da Serra de Carajás (Gramineae): III gênero *Ichnanthus* Beauv. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi, Série Botânica*, 9: 279-293.

Cabral, E.L., Miguel, L.M. & Viana, P.L. 2012. Two new species of *Borreria* (Rubiaceae) from Brazil, with new distributional records for Pará State and key to species with transversally sulcate seeds. *Annals of Botany Fennici*, 49: 209-215.

Cabral, E.L., Sobrado, S.V. & Souza, E.B. 2013. Three new species of *Mitracarpus* Zucc. (Rubiaceae) from Brazil. *Candollea*, 68: 139-146.

Carvalho, A.S. 2010. *Mamíferos de médio e grande porte na Floresta Nacional de Carajás, Pará: riqueza, abundância e efeitos da fitofisionomia e do impacto da mineração*. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 134 p.

Cleef, A.M. & Silva, M.F.F. 1996. Plant Communities of the Serra dos Carajás (Pará - Brasil). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Botânica*, 10(2): 269-281.

Dittrich, V.A.O.; Salino, A. & Almeida, T.E. 2012. Two new species of the fern genus *Blechnum* with partially anastomosing veins from northern Brazil. *Systematic Botany*, 37(1): 38-42.

Feitosa, A.C. 1988. O Programa Grande Carajás no contexto da Amazônia Oriental. *Boletim de Geografia, UEM*, 6(1): 5-18.

Freitas, M.L.D. 1986. Algumas considerações sobre a região-programa. In: Carajás: Desafio Político, Ecologia e Desenvolvimento. São Paulo: Brasiliense /Brasília: CNPq. p. 22-29.

Golder Associates Brasil. 2006. *Estudos de Impacto Ambiental / Relatório de Impacto Ambiental EIA/RIMA do Projeto Serra Leste de Carajás*. No Golder: RT-059-5130-1310- 0012-01-J. Belo Horizonte.

Golder Associates Brasil. 2010. *Projeto Ferro Carajás S11D / Estudos de Impacto Ambiental EIA/RIMA*. No Golder: RT-079-515-5020-0029-02-J. Belo Horizonte.

Golder Associates Brasil & Vale. 2009. *Relatório de Análise de Similaridade das Paisagens de Savana Metalófila – 2ª Aproximação e Recorte Espacial Preliminar da Área Mínima de Canga, Consoante com o Estudo para Avaliação do Tamanho Mínimo Viável de Áreas de Vegetação de Canga na Floresta Nacional de Carajás – ETAPA 2*. Parauapebas e Canaã dos Carajás.

Gonçalves, E.G. & Arruda, A.J. 2013. *Philodendron carajense* sp. nov. (Araceae), a rheophyte from Carajás Mountain Range, northern Brasil. *Nordic Journal of Botany*, 31: 01-04.

King, R.M. & Robinson, H. 1980. Studies in the Eupatorieae (Asteraceae). CXCIV. A new genus *Parapiqueria*. *Phytologia*, 47(2): 110-112

Kirkbride Jr., J.H. 1980. Manipulus rubiacearum – I. *Acta Amazonica*, 10(1): 97-118.

Kral, R. 1988. The genus *Xyris* (Xyridaceae) in Venezuela and contiguous Northern South America. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 75(2): 522-722.

Kral, R. & Strong, M.T. 1999. Eight novelties in *Albildgaardia* and *Bulbostylis* (Cyperaceae) from South America. *Sida*, 18(3): 837-859.

Lourtieg, A. 1987. Lythraceae austroamericanae. Addenda et corrigenda II. *Sellowia*, 39: 5-48.

Martins, F.D.; Edilson, E.; Reis, M.L. & Costa, F.G. 2012. Ações para Conservação, em Fauna da Floresta Nacional de Carajás: estudos sobre vertebrados terrestres. In: *Fauna da Floresta Nacional de Carajás: estudos sobre vertebrados terrestres*. São Paulo: Nitro Imagens. p. 194-227.

- MMA - Ministério do Meio Ambiente. 2004. Portaria nº126 de 27 de maio de 2004, Diário Oficial da União.
- Plowman, T. 1984. New taxa of *Erythroxylum* (Erythroxylaceae) from the Amazon Basin. *Acta Amazonica*, 14(1/2): 117-143.
- Porto, M.L. & Silva, M.F.F. 1989. Tipos de vegetação metalófila em áreas da Serra de Carajás e de Minas Gerais. *Acta Botanica Brasilica*, 3: 13-21.
- Salas, S.M., Viana, P.L., Cabral, E.L., Dessen, S. & Janssens, S. 2015. *Carajasia* (Rubiaceae), a new and endangered genus from Carajás mountain range, Pará, Brazil. *Phytotaxa*, 206(1): 14-29.
- Santos, B.A. 1986. Recursos minerais. In: Carajás: Desafio Político, Ecologia e Desenvolvimento. São Paulo: Brasiliense / Brasília: CNPq. p. 294-361.
- Santos, J.L.R. 2010. Território em transe: a Floresta Nacional de Carajás. In: 5º Encontro Nacional da ANPPAS. Florianópolis. *Anais...* CDROM.
- Secco, R.S. & Lobo, M.G.A. 1988. Considerações taxonômicas e ecológicas sobre a flora dos campos rupestres da serra dos Carajás. *Boletim Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza*, 23: 30-44.
- Secco, R.S. & Mesquita, A.L. 1983. Nota Sobre a Vegetação de Canga da Serra Norte. I. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Nova Série Botânica*, 59: 1-13.
- Silva, A.S.L. 1993. A flora “rupestre” de Carajás – Fabaceae. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Botânica*, 9(1): 3-30.
- Silva, M.F.F. 1991. Análise Florística da Vegetação que Cresce sobre Canga Hematítica em Carajás-PA (Brasil). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Especial*, 7(1): 79-108.
- Silva, M.F.F.; Menezes, N.L.; Cavalcante, P.B. & Joly, C.A. 1986a. Estudos Botânicos: Histórico, Atualidade e Perspectivas. In: *Carajás: Desafio Político, Ecologia e Desenvolvimento*. São Paulo: Brasiliense / Brasília: CNPq. p. 184-207.
- Silva, M.F.F.; Rosa, N.A. & Salomão, R.P. 1986b. Estudos Botânicos na Área do Projeto Ferro Carajás. 3 - Aspectos Florísticos da Mata do Aeroporto de Serra Norte-PA. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Botânica*, 2(2): 169-187.
- Silva, M.F.F., Secco, R.S. & Lobo, M.G.A. 1996. Aspectos ecológicos da vegetação rupestre da Serra dos Carajás, Estado do Pará, Brasil. *Acta Amazonica*, 26(1/2): 17-44.
- STCP – Engenharia de Projetos Ltda. 2003. *Plano de Manejo para uso múltiplo da Floresta Nacional de Carajás*. Cap. 3 – Manejo e Desenvolvimento – Zoneamento. Curitiba.

FLORA DAS CANGAS DE CORUMBÁ, MS: DIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO

Adriana Takahasi

Cangas de Corumbá (bancadas lateríticas)

No Brasil, as cangas localizam-se no Planalto Central, no Nordeste e na região amazônica (Bigarella *et al.* 2007). Segundo Carmo e colaboradores (2012), as maiores reservas de minério de ferro do país estão nestes locais: Quadrilátero Ferrífero no Estado de Minas Gerais (MG), Serra de Carajás no Pará (PA), Caetité na Bahia (BA) e Morraria do Urucum no Mato Grosso do Sul (MS). A exploração econômica sem a devida recuperação ambiental é a principal ameaça a esses ecossistemas (Jacobi *et al.* 2007).

Não há um consenso sobre a terminologia mais adequada para se referir às comunidades vegetais que ocorrem sobre as cangas, devido às distintas características geológicas e geomorfológicas das últimas (ver Carmo & Jacobi 2013). Augustin e colaboradores (2013) sugerem o uso do termo “ferricrete” para referir-se às lateritas endurecidas, incluindo couraças e carapaças ferruginosas, em contraposição ao uso do termo laterita. Poucos trabalhos a respeito da comunidade vegetal que se estabelece nestes ambientes ferruginosos endurecidos utilizam aquela terminologia, exceto os estudos conduzidos por Porembski e colaboradores (1997) sobre a flora dos ferricretes da África.

As cangas de Corumbá e Ladário (MS), também denominadas bancadas lateríticas (Figura 1), são coberturas detrítico-lateríticas: depósitos quaternários antigos que evoluíram por processos pedogenéticos a partir de uma superfície aplainada pós-cretácea (Brasil 1982), que se localizam nas áreas de drenagem (em torno de 100 m de altitude) no sopé dos morros, com pequena declividade (Cardoso *et al.* 2000). Este ambiente está associado a vários tipos de substratos ricos em ferro caracterizados por depósitos de cones de dejeção coalescentes de carapaças ferruginosas, formados sob condições climáticas distintas da atual, e podem apresentar-se totalmente fragmentados ou formando uma espessa e sólida couraça (Brasil 1997). A posição topográfica, baixa declividade e a natureza detrítica destas cangas são as principais características (Figura 1) que as distinguem daquelas em Minas Gerais e no Pará, as quais ocorrem nos topos de morros tabulares.

Embora estas cangas não sejam afloramentos rochosos, podem ser consideradas ecossistemas similares, pois, em ambos os casos, as condições ambientais são bastante restritivas à colonização destes *habitats* pela maioria das plantas vasculares, destacando-se a grande amplitude térmica diária, as elevadas taxas de insolação e a inexistência ou exiguidade de solo, com consequente *deficit* hídrico (Sarhou *et al.* 2009).

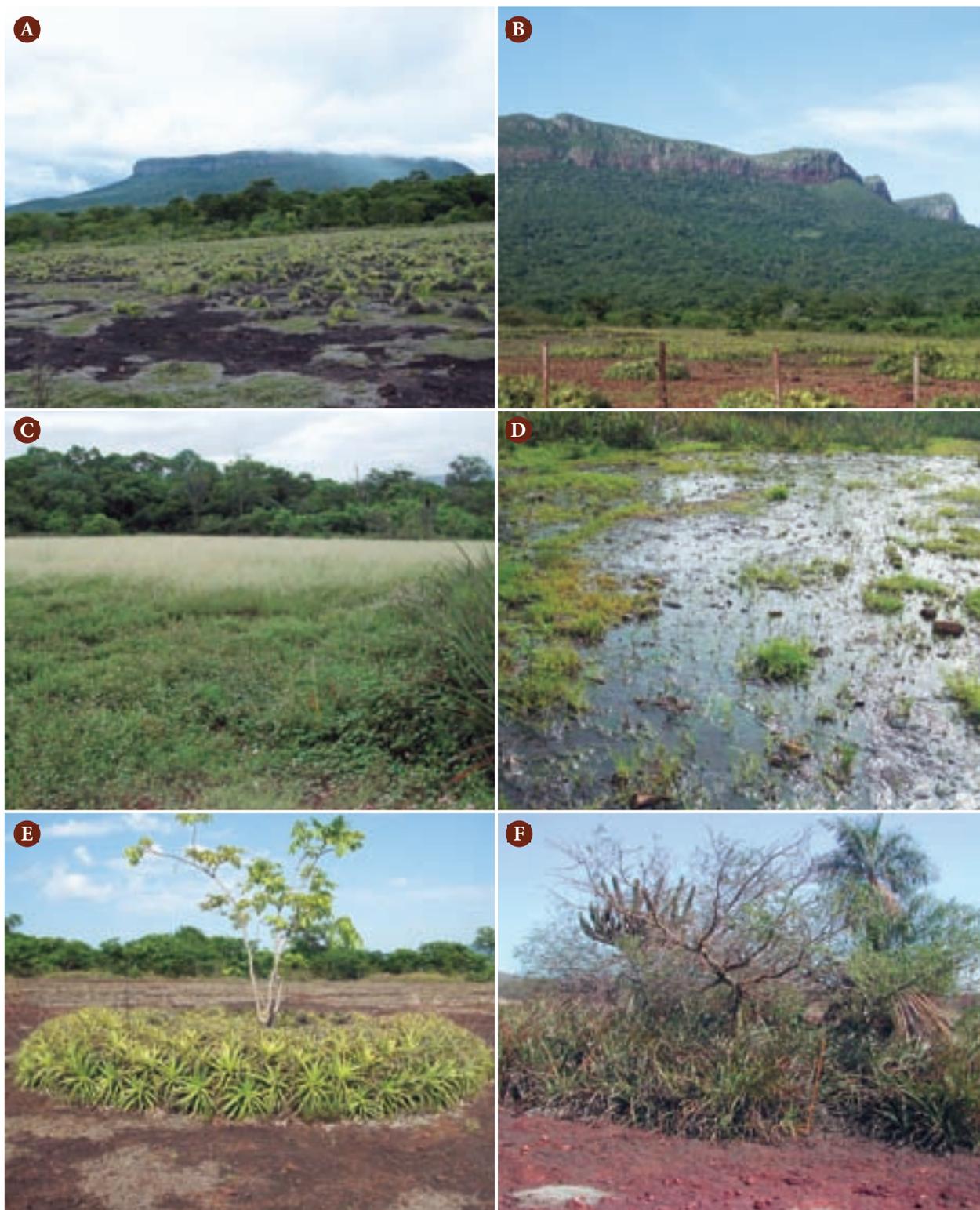


Figura 1 – Vista geral das cangas de Corumbá e Ladário, Estado de Mato Grosso do Sul. **A)** Canga do Parque Natural Municipal de Piraputangas, com vista geral de ilhas de solo de *Selaginella sellowii* (primeiro plano) e de *Deuterocohnia meziana* (ao fundo) e vista da Morraria Tromba dos Macacos. **B)** Canga da Estrada Parque Pantanal, com ilhas de *D. meziana* e, ao fundo, a Morraria do Urucum. **C)** Canga nodular da fazenda São Sebastião do Carandá, com *Sporobolus monandrus* formando densos tapetes. **D)** Áreas de drenagem no interior da canga da fazenda Banda Alta. **E)** Ilha de solo de *D. meziana* e *Astronium fraxinifolium* na fazenda Banda Alta. **F)** Ilha de solo com *Bromelia balansae* e diversos arbustos na fazenda Figueira. Fotos: Adriana Takahasi.

Flora

Até o momento foram identificadas 224 espécies vasculares, pertencentes a 64 famílias botânicas, através dos estudos fitossociológicos e florísticos realizados por Takahasi (2010), André *et al.* (2013), Souza *et al.* (2013), Trindade *et al.* (2013), Takahasi & Meirelles (2014), além de coletas esporádicas em cangas da região de Corumbá, MS (Tabela 1). As plantas foram coletadas nas fazendas Banda Alta (19°08'S, 57°34'W), Estância Alegrete (19°09'S, 57°33'W), São João (19°10'S, 57°32'W) e São Sebastião do Carandá (19°06'S, 57°31'W), localizadas no município de Ladário, além das fazendas Figueira (19°14'S, 57°38'W), Monjolinho (19°16'S, 57°31'W), Parque Natural Municipal Piraputangas (19°14'S, 57°38'W) e Mirante da Arqueologia da Estrada Parque Pantanal (19°10'S, 57°33'W), no município de Corumbá.

As famílias mais ricas em espécies foram: Poaceae (27 espécies), Fabaceae (25), Cyperaceae e Malvaceae (14 espécies cada). As três primeiras famílias são amplamente distribuídas em outras cangas, destacando-se a predominância de Poaceae em Carajás (Secco & Mesquita 1983, Silva 1991) e Quadrilátero Ferrífero (Jacobi *et al.* 2007, Viana & Lombardi 2007, Jacobi *et al.* 2008, Messias *et al.* 2012, Carmo & Jacobi 2013).

A família Velloziaceae tem sido apontada como um componente característico dos campos ferruginosos de Minas Gerais (Rizzini 1997, Jacobi *et al.* 2007, Mourão & Stehmann 2007, Jacobi *et al.* 2008, Messias *et al.* 2012), mas não foi coletada nas cangas de Corumbá, embora a espécie *Vellozia tubiflora* tenha sido registrada próximo a área de estudo, na Serra do Amolar (I.H.Ishii com.pes.) e na Bolívia (Porembski *et al.* 1998).

Estrato herbáceo e ilhas de solo

As bancadas lateríticas são carapaças ferruginosas formadas a partir de depósitos coluviais e de tálus, com blocos e fragmentos de minérios de ferro e manganês, no entorno da morraria do Urucum e Rabicho (Cardoso *et al.* 2000). Embora as cangas de Corumbá não sejam afloramentos rochosos, podemos considerá-las ecossistemas similares, tanto pelas condições edafoclimáticas adversas quanto pelo tipo de ocupação pela vegetação, onde as espécies vasculares se estabelecem diretamente sobre o substrato endurecido ou formando ilhas de solo (Takahasi 2010). As ilhas de solo podem ser definidas como agrupamentos de vegetação vascular circundados pela superfície rochosa (Burbanck & Platt 1964, Shure & Ragsdale 1977, Philips 1981, Meirelles *et al.* 1999, Conceição *et al.* 2007, Ribeiro *et al.* 2007, Sarthou *et al.* 2009). Desta forma, os estudos florísticos nas cangas devem considerar a existência de heterogeneidade ambiental, em uma escala mais fina, pois a vegetação de canga pode não ser homogênea.

As características topográficas das cangas de Corumbá determinam a forma de estabelecimento das plantas vasculares. Podemos definir três comunidades: a primeira, formada por plantas vasculares que se estabelecem diretamente sobre o substrato endurecido, alojando-se em micro e mesocavidades, fissuras e depressões, bem como em locais mais íngremes ou com superfície

Tabela 1 – Lista de famílias e espécies vasculares amostradas nas cangas de Corumbá e Ladário, MS. N.col. = número de coletor de Adriana Takahasi; *Habitat* = ambiente predominante em que a espécie foi registrada (ver item “estrato herbáceo e ilhas de solo” para maiores detalhes); s.f.e. = substrato ferruginoso endurecido; saz.enc. = *habitat* sazonalmente encharcado.

FAMÍLIA	Espécie	N.col.	Habitat
ACANTHACEAE	<i>Thyrsacanthus boliviensis</i> (Nees) A.Côrtes & Rapini	1396	ilha de solo
	<i>Ruellia ciliatiflora</i> Hook.	1032	ilha de solo
AMARANTHACEAE	<i>Gomphrena celosioides</i> Mart.	745	s.f.e.
	<i>Gomphrena centrota</i> E.Holz.	1040	S.f.e.
	<i>Gomphrena vaga</i> Mart.	1051	ilha de solo
AMARYLLIDACEAE	<i>Zephyranthes cearensis</i> (Herb.) Baker	947	saz.enc.
ANACARDIACEAE	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott.	1474	ilha de solo
	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	1423	ilha de solo
ANEMIACEAE	<i>Anemia tomentosa</i> (Sav.) Sw.	858	ilha de solo
ANNONACEAE	<i>Annona nutans</i> (R.E.Fr.) R.E.Fr.	964	ilha de solo
APOCYNACEAE	<i>Aspidosperma cuspa</i> (Kunth) Blake	1408	ilha de solo
	<i>Aspidosperma pyriforme</i> Mart.	1120	ilha de solo
	<i>Aspidosperma quirandy</i> Hassl.	698	ilha de solo
	<i>Blepharodon pictum</i> (Vahl) W.D.Stevens	1177	ilha de solo
	<i>Forsteronia thyrsoides</i> (Vell.) Müll.Arg.	1445	ilha de solo
	<i>Petalostelma robertii</i> (S.Moore) Liede & Meve	1117	ilha de solo
	<i>Prestonia tomentosa</i> R.Br.	1410	ilha de solo
ARACEAE	<i>Philodendron</i> sp.	1477	ilha de solo
ARECACEAE	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart.		ilha de solo
ARISTOLOCHIACEAE	<i>Aristolochia</i> cf. <i>esperanzae</i> Kuntze	1456	ilha de solo
ASTERACEAE	<i>Calea elongata</i> (Gardner) Baker	1039	ilha de solo
	<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist	976	ilha de solo
	<i>Lepidaploa salzmännii</i> (DC.) H.Rob.	714	ilha de solo
BIGNONIACEAE	<i>Cuspidaria</i> sp.	1102	ilha de solo
	<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	1476	ilha de solo
	<i>Jacaranda cuspidifolia</i> Mart.	1121	ilha de solo
BIXACEAE	<i>Cochlospermum regium</i> (Mart. ex Schrank) Pilg.	705	ilha de solo
BROMELIACEAE	<i>Bromelia balansae</i> Mez	1475	ilha de solo
	<i>Deuterocohnia meziana</i> Kuntze ex Mez	722	s.f.e.
	<i>Dyckia excelsa</i> Leme	1098	s.f.e.
	<i>Dyckia leptostachya</i> Baker	677	ilha de solo
	<i>Tillandsia loliacea</i> Mart. ex Schult. & Schult. f.	1091	ilha de solo
BURSERACEAE	<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B.Gillett	729	ilha de solo

Tabela 1 - continuação...

FAMÍLIA	Espécie	N.col.	Habitat
CACTACEAE	<i>Cereus hildmannianus</i> K.Schum.	1376	ilha de solo
	<i>Discocactus ferricola</i> Buining & Brederoo	845	s.f.e.
	<i>Frailea cataphracta</i> (Dams) Britton & Rose	779	ilha de solo
CACTACEAE	<i>Harrisia balansae</i> (K.Schum.) N.P.Taylor & Zappi	755	ilha de solo
	<i>Opuntia</i> sp.	672	ilha de solo
	<i>Praecereus euchlorus</i> (F.A.C.Weber) N.P.Taylor	1103	ilha de solo
CANNABACEAE	<i>Celtis pubescens</i> (Kunth) Spreng.	1346	ilha de solo
CAPPARACEAE	<i>Capparis</i> sp.	1321	saz.enc.
CARYOPHYLLACEAE	<i>Polycarpaea corymbosa</i> (L.) Lam.	973	s.f.e.
CLEOMACEAE	<i>Cleome eosina</i> J.F.Macbr.	829	s.f.e.
	<i>Physostemon guianense</i> (Aubl.)Malme	780	s.f.e.
COMBRETACEAE	<i>Combretum duarteanum</i> Cambess.	941	ilha de solo
	<i>Combretum leprosum</i> Mart.	766	ilha de solo
	<i>Terminalia argentea</i> Mart.	1044	ilha de solo
COMMELINACEAE	<i>Commelina benghalensis</i> L.	1005	ilha de solo
	<i>Commelina</i> cf. <i>erecta</i> L.	1004	ilha de solo
	<i>Commelina platyphylla</i> Klotzsch ex Seub.	1133	ilha de solo
	<i>Tripogandra glandulosa</i> (Seub.) Rohweder	1186	ilha de solo
CONVOLVULACEAE	<i>Evolvulus alopecuroides</i> Mart.	1383	s.f.e.
	<i>Evolvulus filipes</i> Mart.	1203	s.f.e.
	<i>Evolvulus glomeratus</i> Nees & Mart.	1083	s.f.e.
	<i>Evolvulus lithospermoides</i> Mart.	972	s.f.e.
	<i>Ipomoea argentinica</i> Peter	1323	ilha de solo
	<i>Ipomoea nil</i> (L.) Roth	1393	ilha de solo
	<i>Jacquemontia evolvuloides</i> (Moric.) Meisn.	1125	s.f.e.
	<i>Jacquemontia fruticulosa</i> Hallier f.	940	ilha de solo
CUCURBITACEAE	<i>Cayaponia</i> sp.	1191	ilha de solo
CYPERACEAE	<i>Bulbostylis brevifolia</i> Palla	1030	saz.enc.
	<i>Bulbostylis conifera</i> (Kunth) C.B.Clarke	884	saz.enc.
	<i>Cyperus aggregatus</i> (Willd.) Endl.	1363	s.f.e.
	<i>Cyperus cornelii-ostenii</i> Kük.	1343	s.f.e.
	<i>Cyperus laxus</i> Lam.	1263	s.f.e.
	<i>Cyperus subcastaneus</i> D.A.Simpson	1379	ilha de solo
	<i>Cyperus surinamensis</i> Rottb.	1325	ilha de solo
	<i>Cyperus uncinulatus</i> Schrad. ex Nees	1129	saz.enc.
	<i>Eleocharis nigrescens</i> (Nees) Kunth	1239	saz.enc.
	<i>Eleocharis rugosa</i> D.A.Simpson	1243	saz.enc.
	<i>Fimbristylis</i> sp.	1338	S.f.e.
	<i>Kyllinga odorata</i> Vahl	1268	saz.enc.

Tabela 1 - continuação...

FAMÍLIA	Espécie	N.col.	Habitat	
CYPERACEAE	<i>Pycreus lanceolatus</i> (Poir.) C.B.Clarke	1382	S.f.e.	
	<i>Rhynchospora contracta</i> (Nees) J.Raynal	1328	saz. enc.	
ERYTHROXYLACEAE	<i>Erythroxylum deciduum</i> A.St.-Hil.	1316	ilha de solo	
EUPHORBIACEAE	<i>Acalypha communis</i> Müll.Arg.	1022	ilha de solo	
	<i>Actinostemon klotzschii</i> (Didr.) Pax	1068	ilha de solo	
	<i>Cnidoscopus urens</i> (L.) Arthur	1304	ilha de solo	
	<i>Croton glandulosus</i> L.	1185	ilha de solo	
	<i>Croton pedicellatus</i> Kunth	943	S.f.e.	
	<i>Dalechampia brasiliensis</i> Lam.	985	ilha de solo	
	<i>Euphorbia thymifolia</i> L.	1370	S.f.e.	
	<i>Jatropha ribifolia</i> (Pohl) Baill.	1026	ilha de solo	
	<i>Jatropha weddeliana</i> Baill.	673	ilha de solo	
	<i>Manihot anomala</i> Pohl	767	ilha de solo	
	<i>Microstachys hispida</i> (Mart.) Govaerts	799	ilha de solo	
	FABACEAE	<i>Aeschynomene histrix</i> Poir.	925	S.f.e.
		<i>Alysicarpus vaginalis</i> (L.) DC.	1019	ilha de solo
		<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm.	1122	ilha de solo
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan		1473	ilha de solo	
<i>Arachis</i> sp.		812	saz. enc.	
<i>Bauhinia pentandra</i> (Bong.) D.Dietr.		961	ilha de solo	
<i>Camptosema ellipticum</i> (Desv.) Burkart		1041	ilha de solo	
<i>Canavalia brasiliensis</i> Mart. ex Benth.		1374	ilha de solo	
<i>Centrosema pascuorum</i> Mart. ex Benth.		1373	saz. enc.	
<i>Chamaecrista flexuosa</i> (L.) Greene		1107	S.f.e.	
<i>Chamaecrista nictitans</i> (L.) Moench		960	S.f.e.	
<i>Chamaecrista serpens</i> (L.) Greene		1006	S.f.e.	
<i>Chamaecrista supplex</i> (Mart. ex Benth.) Britton & Rose ex Britton & Killip		885	S.f.e.	
<i>Dipteryx alata</i> Vogel		1319	ilha de solo	
<i>Guibourtia hymenaeifolia</i> (Moric.) J.Leonard		1314	ilha de solo	
<i>Lonchocarpus variabilis</i> R.R.Silva & A.M.G.Azevedo		1137	ilha de solo	
<i>Macroptilium bracteatum</i> (Nees & Mart.) Maréchal & Baudet		993	ilha de solo	
<i>Macroptilium lathyroides</i> (L.) Urb.		1011	ilha de solo	
<i>Mimosa bimucronata</i> (DC.) Kuntze		1009	ilha de solo	
<i>Mimosa nuda</i> Benth.		1050	S.f.e.	
<i>Mimosa xanthocentra</i> Mart.		958	ilha de solo	
<i>Senna pilifera</i> (Vogel) H.S.Irwin & Barneby		707	S.f.e.	
<i>Stylosanthes capitata</i> Vogel	1108	S.f.e.		
<i>Stylosanthes acuminata</i> M.B.Ferreira & Sousa Costa	956	S.f.e.		
<i>Zornia reticulata</i> Sm.	1134	S.f.e.		

Tabela 1 - continuação...

FAMÍLIA	Espécie	N.col.	Habitat
GENTIANACEAE	<i>Schultesia</i> sp.	1225	Saz.enc.
IRIDACEAE	<i>Cipura formosa</i> Ravenna	865	saz.enc.
	<i>Cipura paludosa</i> Aubl.	1261	saz.enc.
KRAMERIACEAE	<i>Krameria grandiflora</i> A.St.-Hil.	1261	S.f.e.
LAMIACEAE	<i>Hyptis</i> cf. <i>pectinata</i> (L.) Poit.	1267	ilha de solo
	<i>Hyptis brevipes</i> Poit.	1012	S.f.e.
LYTHRACEAE	<i>Ammannia auriculata</i> Willd.g	1483	saz.enc.
	<i>Cuphea</i> cf. <i>micrantha</i> Kunth	785	ilha de solo
	<i>Rotala</i> cf. <i>mexicana</i> Cham. & Schtdl.	1331	saz.enc.
	<i>Rotala</i> cf. <i>ramosior</i> (L.) Koehne	1330	saz.enc.
MALPIGHIACEAE	<i>Aspicarpa pulchella</i> (Griseb.) O'Donell & Lourteig	769	ilha de solo
	<i>Banisteriopsis muricata</i> (Cav.) Cuatrec.	896	ilha de solo
	<i>Callaeum psilophyllum</i> (A.Juss.) D.M.Johnson	762	ilha de solo
	<i>Diplosterys</i> sp.	1118	ilha de solo
	<i>Heteropterys</i> cf. <i>amplexicaulis</i> Morong	1109	ilha de solo
	<i>Janusia guarinitica</i> (A.St.-Hil.) A.Juss.	819	S.f.e.
	<i>Tetrapterys</i> sp.	742	ilha de solo
MALVACEAE	<i>Ayenia tomentosa</i> L.	1081	S.f.e.
	<i>Corchorus hirtus</i> L.	946	ilha de solo
	<i>Luehea candicans</i> Mart. & Zucc.	847	ilha de solo
	<i>Melochia parvifolia</i> Kunth	977	S.f.e.
	<i>Melochia pyramidata</i> L.	1085	ilha de solo
	<i>Pavonia sidifolia</i> Kunth	928	ilha de solo
	<i>Pseudobombax marginatum</i> (A.St.-Hil.) A.Robyns	1046	ilha de solo
	<i>Sida cordifolia</i> L.	1279	S.f.e.
	<i>Sida glabra</i> Mill.	1024	ilha de solo
	<i>Sida glomerata</i> Cav.	1281	S.f.e.
	<i>Sida linifolia</i> Cav.	1034	S.f.e.
	<i>Sterculia striata</i> A.St.-Hil. & Naudin	1481	ilha de solo
	<i>Waltheria operculata</i> Rose	771	S.f.e.
	<i>Wissadula macrantha</i> R.E.Fr.	986	ilha de solo
MELIACEAE	<i>Trichilia catigua</i> A.Juss.	1480	ilha de solo
	<i>Trichilia elegans</i> A.Juss.	1478	ilha de solo
MOLLUGINACEAE	<i>Mollugo verticillata</i> L.	839	S.f.e.
MYRTACEAE	<i>Eugenia aurata</i> O.Berg.	917	ilha de solo
	<i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.	1127	ilha de solo
	<i>Eugenia repanda</i> O.Berg.	1398	ilha de solo
	<i>Myrcia laruotteana</i> Cambess.	1264	ilha de solo

Tabela 1 - continuação...

FAMÍLIA	Espécie	N.col.	Habitat
OCHNACEAE	<i>Ouratea</i> aff. <i>castaneifolia</i> (DC.) Engl.	731	ilha de solo
ONAGRACEAE	<i>Ludwigia decurrens</i> Walter	1018	saz. enc.
	<i>Ludwigia grandiflora</i> (Michx.) Greuter & Burdet	869	saz. enc.
	<i>Ludwigia lagunae</i> (Morong) H.Hara	724	saz. enc.
OPHIOGLOSSACEAE	<i>Ophioglossum</i> sp.	1262	S.f.e.
ORCHIDACEAE	<i>Cyrtopodium virescens</i> Rchb.f. & Warm.	1114	ilha de solo
OXALIDACEAE	<i>Oxalis barrelieri</i> L.	893	S.f.e.
	<i>Oxalis frutescens</i> L.	1106	S.f.e.
PASSIFLORACEAE	<i>Passiflora foetida</i> L.	1402	ilha de solo
PHYLLANTHACEAE	<i>Phyllanthus orbiculatus</i> Rich.	1266	ilha de solo
PHYTOLACCACEAE	<i>Microtea scabrida</i> Urb.	910	ilha de solo
PLANTAGINACEAE	<i>Bacopa</i> sp.	1242	saz. enc.
POACEAE	<i>Axonopus compressus</i> (Sw.) P.Beauv.	1259	ilha de solo
	<i>Axonopus suffultus</i> (Mikan ex Trin.) Parodi	952	ilha de solo
	<i>Brachiaria adspersa</i> (Trin.) Parodi	1277	ilha de solo
	<i>Chloris elata</i> Desv.	796	S.f.e.
	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Willd.	1207	S.f.e.
	<i>Digitaria bicornis</i> (Lam.) Roem. & Schult.	1293	S.f.e.
	<i>Eragrostis orthoclada</i> Hack.	1290	S.f.e.
	<i>Eustachys retusa</i> (Lag.) Kunth	1272	S.f.e.
	<i>Gouinia latifolia</i> (Griseb.) Vasey	1021	ilha de solo
	<i>Melinis minutiflora</i> P.Beauv.	1029	S.f.e.
	<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka	747	S.f.e.
	<i>Mesosetum chaseae</i> Luces	1204	S.f.e.
	<i>Microchloa indica</i> (L.f.) P.Beauv.	1172	saz. enc.
	<i>Oplismenus hirtellus</i> (L.) P.Beauv.	1274	ilha de solo
	<i>Panicum exiguum</i> Mez	1150	ilha de solo
	<i>Megathyrsus maximus</i> (Jacq.) B.K.Simon & S.W.L.Jacobs	1211	ilha de solo
	<i>Panicum millegrana</i> Poir.	1292	S.f.e.
	<i>Panicum polygonatum</i> Schrad.	1234	ilha de solo
	<i>Pappophorum pappiferum</i> (Lam.) Kuntze	855	ilha de solo
	<i>Paspalum malacophyllum</i> Trin.	1273	S.f.e.
	<i>Paspalum plicatum</i> Michx.	1157	ilha de solo
	<i>Schizachyrium condensatum</i> (Kunth) Nees	999	S.f.e.
	<i>Setaria parviflora</i> (Poir.) Kerguelen	1294	S.f.e.
	<i>Sporobolus indicus</i> (L.) R.Br.	798	S.f.e.
	<i>Sporobolus monandrus</i> Roseng., B.R.Arrill. & Izag.	1145	saz. enc.
	<i>Tripogon spicatus</i> (Nees) Ekman	1131	saz. enc.
	<i>Urochloa</i> sp.	1291	ilha de solo

Tabela 1 - continuação...

FAMÍLIA	Espécie	N.col.	Habitat
POLYGALACEAE	<i>Bredemeyera floribunda</i> Willd.	1037	ilha de solo
	<i>Securidaca</i> sp.	1035	ilha de solo
POLYPODIACEAE	<i>Microgramma vacciniifolia</i> (Langsd. & Fisch.) Copel.	1487	ilha de solo
PORTULACACEAE	<i>Portulaca amilis</i> Speg.	1128	S.f.e.
	<i>Portulaca halimoides</i> L.	1340	S.f.e.
	<i>Portulaca mucronata</i> Link	882	S.f.e.
	<i>Portulaca mucronulata</i> D.Legrand	970	S.f.e.
	<i>Portulaca pilosa</i> L.	901	S.f.e.
	<i>Portulaca umbraticola</i> Kunth	1367	S.f.e.
	<i>Talinum triangulare</i> (Jacq.) Willd.	758	S.f.e.
PTERIDACEAE	<i>Adiantopsis tweediana</i> (Hook.) Link-Pérez & Hickey	1048	ilha de solo
	<i>Doryopteris concolor</i> (Langsd. & Fisch.) Kuhn	889	ilha de solo
RHAMNACEAE	<i>Gouania</i> cf. <i>lupuloides</i> (L.) Urb.	881	ilha de solo
RUBIACEAE	<i>Cordia concolor</i> (Cham.) Kuntze	1407	ilha de solo
	<i>Coutarea hexandra</i> (Jacq.) K.Schum.	906	ilha de solo
	<i>Randia armata</i> (Sw.) DC.	743	ilha de solo
	<i>Spermacoce verticillata</i> L.	1138	S.f.e.
RUBIACEAE	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schldl.) K.Schum.	681	ilha de solo
RUTACEAE	<i>Helietta puberula</i> R.E.Fr.	1176	ilha de solo
RUTACEAE	<i>Zanthoxylum caribaeum</i> Lam.	1466	ilha de solo
SALICACEAE	<i>Casearia gossypiosperma</i> Briq.	1086	ilha de solo
	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	1057	ilha de solo
SAPINDACEAE	<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	1485	ilha de solo
	<i>Serjania</i> cf. <i>caracasana</i> (Jacq.) Willd.	1188	ilha de solo
	<i>Serjania marginata</i> Casar.	1464	ilha de solo
	<i>Talisia esculenta</i> (Cambess) Radlk.	1482	ilha de solo
SAPOTACEAE	<i>Pouteria</i> sp.	1166	ilha de solo
SELAGINELLACEAE	<i>Selaginella convoluta</i> (Arn.) Spring	1479	ilha de solo
	<i>Selaginella marginata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Spring	750	ilha de solo
	<i>Selaginella sellowii</i> Hieron.	1311	ilha de solo
SMILACACEAE	<i>Smilax</i> cf. <i>fluminensis</i> Steud.	1045	ilha de solo
TURNERACEAE	<i>Piriqueta</i> cf. <i>viscosa</i> Griseb.	1052	S.f.e.
	<i>Turnera grandiflora</i> (Urb.) Arbo	1141	S.f.e.
	<i>Turnera pumilea</i> L.	820	S.f.e.
UTRICULARIACEAE	<i>Utricularia</i> sp.	1241	saz.enc.
VERBENACEAE	<i>Stachytarpheta matogrossensis</i> Moldenke	765	ilha de solo

convexa da couraça intensificando a ação da lixiviação. Na canga nodular da fazenda São Sebastião do Carandá (Figura 1c), por exemplo, a ocorrência das espécies *Portulaca mucronulata* e *Selaginella sellowii* restringiram-se aos locais onde aflora o substrato ferruginoso endurecido. Nesta comunidade foram registradas 69 espécies vasculares que ocupam exclusiva ou preferencialmente o substrato endurecido, destacando-se: *Discocactus ferricola*, *Gomphrena centrota*, *Polycarpaea corymbosa*, *Portulaca mucronulata*, *Tripogon spicatus*, *Selaginella sellowii* e *Sporobolus monandrus*, sendo que as duas últimas podem formar densos tapetes em alguns locais (Figura 2, Tabela 1, *habitat* “substrato ferruginoso endurecido”).

A segunda comunidade do estrato herbáceo se estabelece em locais topograficamente mais baixos, onde o acúmulo de sedimentos pode recobrir grandes extensões, com cerca de 5-10 cm de profundidade, que ficam recobertos por uma pequena lâmina de água na época de chuvas. Este ambiente propicia o surgimento de diversas plantas efêmeras, típicas de locais sazonalmente inundáveis, associadas às áreas de drenagem e escoamento lento da água das chuvas. Neste *habitat* foram registradas 25 espécies, muitas das quais associadas a ambientes inundáveis, como *Ammannia auriculata*, *Bacopa* sp., *Cipura formosa*, *Ludwigia* spp., *Rotala* spp., *Utricularia* sp., e também a única geófita das cangas de Corumbá, *Zephyranthes cearensis* (Figura 2, Tabela 1, *habitat* “sazonalmente inundável”).

As duas comunidades descritas acima compõem o estrato herbáceo das cangas de Corumbá, distribuindo-se ao longo de um gradiente ambiental determinado pela granulometria do substrato, com espécies que se estabelecem diretamente sobre a canga exposta, e outras que se estabelecem em locais com acúmulo de sedimentos associado à inundação sazonal (Takahasi & Meirelles 2014).

A terceira comunidade vegetal é composta por plantas que formam agrupamentos denominados moitas ou ilhas de solo, definidos como conjunto de plantas vasculares rodeado pelo substrato ferruginoso endurecido (Figura 1). Nestas ilhas de solo as condições microclimáticas são amenizadas e o incremento de matéria orgânica, serrapilheira e sedimentos são progressivos, até que um evento estocástico como fortes enxurradas, ventos ou animais destruam estas comunidades insulares. Foram registradas 130 espécies neste *habitat*, na maioria componentes das matas decíduais características da região (Tabela 1, *habitat* “ilha de solo”). Destacam-se as espécies: *Acrocomia aculeata*, *Astronium fraxinifolium*, *Bauhinia pentandra*, *Combretum duarteanum*, *Commiphora leptophloeos*, *Jacaranda cuspidifolia*, *Myracrodruon urundeuva* e *Tocoyena formosa*, como as mais conspícuas e frequentes (Tabela 1, *habitat* “ilha de solo”). Em Corumbá, a bromeliácea *Deuterocohnia meziana* ocorre exclusivamente nas cangas e, por sua elevada densidade, pode ser considerada característica desta fisionomia. Algumas poucas espécies de maior porte encontradas em ilhas de solo também podem ocorrer isoladamente na canga, como por exemplo: *A. aculeata*, *A. fraxinifolius* e *Cereus hildmannianus*.

Três espécies vasculares caracterizam as ilhas de solo das cangas de Corumbá: as bromeliáceas *Bromelia balansae* e *Deuterocohnia meziana* e a pteridófita *Selaginella sellowii* (Figura 1), possivelmente influenciadas pelo aumento do tamanho insular e consequente melhora das condições microclimáticas que, por sua vez, permitem o estabelecimento de espécies de maior



Figura 2 – Espécies vegetais das cangas de Corumbá, MS, que ocorrem sobre a superfície ferruginosa endurecida: **A)** *Polycarpaea corymbosa*, **B)** *Gomphrena centrotia*, **C)** *Discocactus ferricola*, **D)** *Turnera grandiflora*, **E)** *Portulaca mucronulata*, bem como espécies que se estabelecem em áreas relativamente planas ou côncavas preenchidas com uma fina camada de sedimento sujeitas a inundações sazonais: **F)** *Zephyranthes cearensis*, **G)** *Ammannia auriculata* e **H)** *Schultesia* sp. Fotos: Adriana Takahasi.

porte. Enquanto *B. balansae* espécie revelou elevados valores de cobertura em ilhas maiores, *D. meziana* foi mais importante em ilhas pequenas, revelando duas estratégias diferentes na ocupação das cangas (Takahasi 2010). A primeira estratégia pode ser descrita pela formação de manchas de *D. meziana*, muitas vezes descontínuas, associadas a poucas espécies de plantas, predominantemente herbáceas. Entre os componentes arbustivos que ocorrem em ilhas de *D. meziana* destacaram-se *Astronium fraxinifolium* (Figura 1e) e *Bauhinia pentandra* (Takahasi 2010). Estas ilhas de solo predominam em locais mais íngremes ou superfícies convexas das cangas, onde o escoamento da água da chuva é mais intenso. A ação do fogo também pode contribuir na descontinuidade das ilhas de solo, já que alguns estolões não resistem à queima. Estas ilhas de solo podem apresentar um formato alongado, em locais com declividade mais acentuada, ou concêntrico, em áreas mais planas. A segunda estratégia pode ser definida pela ocorrência de ilhas de solo com *B. balansae* associada a diferentes componentes arbustivo-arbóreos (Figura 1f), resultando na heterogeneidade da composição florística das diferentes cangas. Esta bromeliácea não ocorre isoladamente, nem em ilhas de pequeno tamanho, e o formato das ilhas tende a ser mais alongado do que concêntrico por ocupar regiões relativamente planas ou côncavas da canga, preenchidas com sedimentos (Takahasi 2010). Já a pteridófita *Selaginella sellowii* pode constituir ilhas de solo pequenas, ocorrendo isoladamente, formar densos “tapetes” ou, ainda, ocupar as bordas de ilhas maiores. Esta espécie parece ser um importante componente no início da sucessão vegetal das cangas (Takahasi 2010).

Em Corumbá, as ilhas de solo contribuíram para a elevada riqueza de espécies, já que cerca de 40% do total foram exclusivas deste *habitat*, enquanto um terço das espécies foi amostrado tanto no estrato herbáceo quanto em ilhas de solo (Takahasi 2010). Este resultado sugere que a associação de espécies na forma de moitas pode decorrer de condições ambientais mais amenas nas ilhas de solo (Meirelles *et al.* 1999), permitindo o estabelecimento de espécies mais exigentes quanto a nutrientes do solo, umidade e temperatura. Conforme a ilha de solo aumenta de tamanho, novas espécies podem colonizar estes ambientes devido às melhores condições microclimáticas, como a maior profundidade do solo, maior umidade e heterogeneidade ambiental. Isto parece ser coerente, pois as espécies de maior porte raramente se estabelecem diretamente sobre a superfície ferruginosa endurecida.

Nas cangas de Corumbá as ilhas de solo revelaram uma composição florística distinta do estrato herbáceo, reforçando as diferentes estratégias de ocupação das plantas nas cangas, onde a maioria das plantas do estrato herbáceo pode ser encontrada nas ilhas de solo, mas o inverso não ocorre, como já foi destacado para outros afloramentos rochosos (Burbanck & Platt 1964).

Sete espécies amostradas no estrato herbáceo das cangas de Corumbá perfizeram pouco mais de 75% dos valores de dominância, indicando que apenas 10% do total de espécies amostradas definem a estrutura desta comunidade, destacando-se a pteridófita *Selaginella sellowii* e a gramínea *Sporobolus monandrus* (Figura 1c), as duas espécies com os maiores valores de importância (Takahasi & Meirelles 2014). Estudos em campos rupestres ferruginosos do Quadrilátero Ferrífero constataram que propriedades físicas, como a ocorrência de rochas expostas e características granulométricas, podem ser determinantes na composição de espécies das comunidades vegetais (Messias *et al.* 2013).

A proporção elevada de espécies exclusivas de uma única canga (40% do total de espécies) determinou uma composição florística distinta em uma pequena distância, o que, certamente, confere a importância da conservação destes *habitats* (Takahasi 2010). A baixa similaridade florística entre afloramentos rochosos próximos, de mesma litologia, também foi constatada para afloramentos graníticos-gnáissicos na Mata Atlântica (Meirelles *et al.* 1999), na Bolívia (Killeen & Hinz 1992), na Guiana Francesa (Sarhou & Villiers 1998), além de algumas cangas em Minas Gerais (Vincent & Meguro 2008, Jacobi *et al.* 2007).

Nossos estudos registraram a ocorrência de oito espécies de pteridófitas (Tabela 1) que podem estabelecer-se diretamente sobre o substrato endurecido ou em ilhas de solo (Takahasi 2010). Apenas as espécies *Selaginella sellowii* e *S. convoluta* ocorrem diretamente sobre a superfície ferruginosa endurecida, formando pequenas ilhas de solo, praticamente monoespecíficas (Takahasi 2010). Quando estas espécies ocorrem em ilhas maiores, ficam restritas às bordas das mesmas. Outra pteridófita, *Ophioglossum* sp., foi registrada em uma única canga e não foi observada em unidades insulares, mas estabelecendo-se diretamente sobre o substrato raso e pequenos fragmentos de minério de ferro (Takahasi 2010). As demais espécies de pteridófitas foram registradas em ilhas de solo maiores, geralmente dominadas por *Bromelia balansae*. A riqueza de pteridófitas correlacionou-se positivamente com a área insular, possivelmente pela maior heterogeneidade ambiental, destacando-se a ocorrência de *Anemia tomentosa*, *Cheilanthes tweediana*, *Doryopteris concolor*, *Microgramma vacciniifolia* e *Selaginella* spp. em ilhas de solo com *Bromelia balansae* (Takahasi 2010). A associação entre *B. balansae*, *A. tomentosa* e *C. tweediana* foi bastante conspícua e o enrolamento e desidratação das folhas destas pteridófitas sugerem tolerância à dessecação. Entretanto, essas plantas não ocorreram isoladamente, como constatado para *S. sellowii*, o que pode estar relacionado à umbrofilia, como já foi registrado para outras criptógamas vasculares tolerantes à dessecação destes gêneros (Meirelles 1996).

O predomínio de fanerófitas nas ilhas de solo nas cangas de Corumbá, favorecido, ao menos parcialmente, pela localização nos sopés dos morros e pela baixa declividade dessas cangas, foi um aspecto similar ao registrado para afloramentos rochosos da Guiana Francesa (Gröger & Huber 2007, Sarhou *et al.* 2009) e da Bolívia (Ibisch *et al.* 1995), enquanto em diversos afloramentos graníticos os componentes lenhosos ficam restritos às ilhas de solo localizadas em depressões da rocha (p.ex. Ribeiro *et al.* 2007).

Endemismo e espécies ameaçadas de extinção

A vegetação das cangas de Corumbá tem sido estudada apenas recentemente e, até o momento, registra poucos endemismos. Duas espécies são citadas como endêmicas das cangas de Corumbá e Ladário: *Gomphrena centrota* E.Holz. (Amaranthaceae) (Bortolotto *et al.* 1999, Pott *et al.* 2000) e uma espécie nova, *Mimosa ferricola* R.R. Silva & A.M.G. Azevedo (Fabaceae), citada com ocorrência restrita a estes ambientes (Silva & Tozzi 2011).

A cactácea *Discocactus ferricola* Buining & Brederoo e a bromeliácea *Deuterocohnia meziana* Kuntze ex Mez têm uma distribuição restrita às cangas de Corumbá e da Bolívia. Outras plantas, como *Ophioglossum* sp. e *Ouratea* aff. *castanaefolius* (DC.) Engl., ainda têm uma identificação incerta, podendo ser espécies novas, novos registros de ocorrência ou, ainda, microendêmicas.

O registro recente de uma grande população natural da bromeliácea *Dyckia excelsa* Leme em uma canga em Corumbá sugere que esta espécie possa ter uma distribuição restrita, dada a ausência de registros desta planta em outras localidades (Paggi *et al.* 2015), mas ainda é prematura sua determinação como uma espécie endêmica.

Esta baixa frequência de espécies endêmicas em Corumbá também foi constatada para os afloramentos graníticos da Bolívia (Ibisch *et al.* 1995) e da Guiana Francesa (Sarhou & Villiers 1998). Este resultado, entretanto, difere do que vem sendo registrado para as cangas do Quadrilátero Ferrífero e do sudoeste da Austrália, com elevada diversidade e endemismo (Jacobi *et al.* 2007, Gibson *et al.* 2010). O estudo de Gibson e colaboradores (2010) sugere que os endemismos e elevada diversidade observados nas cangas da Austrália são padrões complexos resultantes de longos períodos de múltiplas colonizações, associadas a extinções locais, devido às modificações climáticas, fragmentação, isolamento e deriva genética.

A aroeira, *Myracrodruon urundeuva*, é a única espécie que ocorre nas cangas de Corumbá citada na lista de espécies ameaçadas de extinção (MMA 2008). Algumas plantas das cangas têm dados insuficientes para incluí-las no grupo de espécies ameaçadas, como: *Astronium fraxinifolium*, *Deuterocohnia meziana*, *Discocactus ferricola* e *Gomphrena centrota* (MMA 2008), sendo as três últimas espécies bastante conspícuas nas cangas de Corumbá.

Ameaças, conservação e políticas públicas

Apesar da vegetação das cangas da região de Corumbá abrigar várias espécies que não ocorrem em outros ambientes próximos, não tem sido contemplada por políticas de conservação. A maioria destas cangas localiza-se em áreas particulares e, por tratar-se de um ambiente inadequado para instalação de pastagens ou uso agrícola, são muito degradadas, especialmente pela supressão da vegetação, corte seletivo, queima, pastoreio e pisoteio pelo gado. Como a vegetação é pouco densa e a topografia muito plana, alguns proprietários constroem depósitos ou utilizam as cangas como local de acesso por veículos. A facilidade de acesso também propicia a retirada de vários espécimes, principalmente orquídeas e cactos, vendidos irregularmente nas feiras da região.

Recentemente uma canga foi preservada por estar inserida em uma unidade de conservação municipal, o Parque Natural de Piraputangas, com uma área total de 1300 ha, criado através do Decreto Municipal nº 78/2003, de 22/05/2003, e Plano de Manejo aprovado através de Decreto Municipal nº 521, de 13/10/2008.

Em várias cangas de Corumbá e Ladário são encontrados petrógrifos, inscrições rupestres em baixo relevo, motivo pelo qual três delas foram incluídas no *Geopark* Bodoquena Pantanal: o sítio 25 (Fazenda Figueirinha: Sítio arqueológico MS/CP-01, do Lajedo, Corumbá, 27 km da área urbana, ao lado da BR 262, coordenadas 19°14'09"S, 57°38'47"W); sítio 26 (Fazenda Banda Alta, Corumbá, a 20 km da área urbana, ao lado da Estrada Parque, coordenadas 19°09'57"S, 57°33'32"W) e sítio MS/CP-03 (Mirante da Arqueologia). Os sítios arqueológicos são descritos como crostas lateríticas sobre conglomerados ferruginosos petromíticos da Formação Urucum, com inscrições em baixo relevo de círculos concêntricos, circunferências, espirais, linhas sinuosas e tridáctilos, estendidos por centenas de metros. Pesquisas arqueológicas apontam a presença de grupos de caçadores-coletores pré-cerâmicos, há cerca de 2.000 a 3.000 anos (Mato Grosso do Sul 2014). Em 2010, foi solicitada a inclusão deste Parque na Rede Global de *Geoparks*, sendo delimitado em uma área de excepcional valor geológico e paleontológico, associando a proteção destes recursos naturais com o desenvolvimento sustentável, incluindo o ecoturismo (Mato Grosso do Sul 2014).

De modo geral, pouco tem sido feito para a conservação da flora e fauna destas cangas, a despeito de sua grande heterogeneidade na composição florística, elevada diversidade e alto grau de insularidade, além de sua importância arqueológica. Esperamos que nossos estudos possam contribuir para a divulgação da importância deste peculiar ambiente inserido no bioma cerrado-pantanal, envolvendo a sensibilização dos proprietários das fazendas, governos e sociedade civil para a efetiva implantação de políticas públicas de conservação de espécies das cangas de Corumbá.

Referências Bibliográficas

- Andre, C.B.D.S.; Trindade, A.C.; Urquiza, M.V.S.; Mendes, F.L.; Rodrigues, A.K.C.; Ishii, I.H. & Takahasi, A. 2013. *Fenologia de espécies herbáceo-arbustivas em ilhas de solo em bancadas lateríticas, Corumbá, MS*. In: XI Congresso de Ecologia. Porto Seguro. *Anais...* CD-Rom.
- Augustin, C.H.R.R.; Lopes, M.R.S. & Silva, S.M. 2013. Lateritas: um conceito ainda em construção. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 14(3): 241-257.
- Bigarella, J.J.; Becker, R.D. & Santos, G.F. 2007. *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*. 2ª edição. Florianópolis: Editora da UFSC. v. 1.
- Bortolotto, I.M.; Damasceno-Júnior, G.A. & Isquierdo, S.W.G. 1999. Caracterização das unidades fitofisionômicas da bacia da Lagoa Negra em Ladário – MS. In: 2. Simpósio sobre Recursos Naturais e Socioeconômicos do Pantanal: manejo e conservação. Brasília: Embrapa. *Anais...* p. 283-289.
- Brasil. 1982. *Projeto RADAMBRASIL*. Folha SE. 21 Corumbá e parte da folha SE. 20. (Levantamento de recursos naturais, 27). Rio de Janeiro: MME.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Programa Nacional do Meio Ambiente. Projeto Pantanal. 1997. *Plano de conservação da Bacia do Alto Paraguai-PCBAP: análise integrada e prognóstico da Bacia do Alto Paraguai*. Brasília: PNMA. v. 3.
- Burbanck, M.P. & Platt, R.B. 1964. Granite outcrop communities of the piedmont plateau in Georgia. *Ecology*, 45(2): 292-306.
- Cardoso, E.L.; Oliveira, H.; Amaral, J.A.M.; Ker, J.C.; Pereira, N.R.; Santos, R.D.; Tôsto, S.G.; Spera, S.T. & Carvalho Júnior, W. 2000. Pedologia. In: Silva, J.S.V. *Zoneamento ambiental da borda oeste do Pantanal: maciço do Urucum e adjacências*. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. p. 95-109.
- Carmo, F.F.; Campo, I.C. & Jacobi, C.M. 2012. Cangas: ilhas de ferro estratégicas para a conservação. *Ciência Hoje*, 295: 48-53.
- Carmo, F.F. & Jacobi, C.M. 2013. A vegetação de canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: caracterização e contexto fitogeográfico. *Rodriguésia*, 64(3): 527-541.
- Conceição, A.A.; Pirani, J.R. & Meirelles, S.T. 2007. Floristics, structure and soil of insular vegetation in four quartzite-sandstone outcrops of “Chapada Diamantina”, northeast Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, 30(4): 641-656.
- Gibson, N.; Yates, C.J. & Dillon, R. 2010. Plant communities of the ironstone ranges of South Western Australia: hotspots for plant diversity and mineral deposits. *Biodiversity and Conservation*, 19: 3951-3962.
- Gröger, A. & Huber, O. 2007. Rock outcrop habitats in the Venezuelan Guayana lowlands: their main vegetation types and floristic components. *Revista Brasileira de Botânica*, 30(4): 599-609.
- Ibisch, P.L., Rauer, G.; Rudolph, D. & Barthlott, W. 1995. Floristic, biogeographical, and vegetational aspects of Pre-Cambrian rock outcrops (inselbergs) in eastern Bolivia. *Flora*, 190: 299-314.

- Jacobi, C.M.; Carmo, F.F. & Vincent, R.C. 2008. Estudo fitossociológico de uma comunidade vegetal sobre canga como subsídio para a reabilitação de áreas mineradas no Quadrilátero Ferrífero, MG. *Revista Árvore*, 32(2): 345-353.
- Jacobi, C.M.; Carmo, F.F.; Vincent, R.C. & Stehmann, J.R. 2007. Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 16: 2185-2200.
- Killeen, T.J. & Hinz, P.N. 1992. Grasses of the Precambrian Shield region in eastern lowland Bolivia. I. Habitat preferences. *Journal of Tropical Ecology*, 8: 389-407.
- Mato Grosso do Sul. 2014. *Geopark Bodoquena Pantanal*. Disponível em: <http://www.geoparkbodoquenapantanal.ms.gov.br/>. Acesso em: 20 ago. 2014.
- Meirelles, S.T. 1996. *Estrutura da comunidade e características funcionais dos componentes da vegetação de um afloramento rochoso em Atibaia, SP*. Tese de Doutorado. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos / Centro de Ciências Biológicas e da Saúde.
- Meirelles, S.T.; Pivello, V.R. & Joly, C.A. 1999. The vegetation of granite rock outcrops in Rio de Janeiro, Brazil, and the need for its protection. *Environmental Conservation*, 26(1): 10-20.
- Messias, M.C.T.B.; Leite, M.G.P.; Meira-Neto, J.A.A. & Kozovits, A.R. 2012. Fitossociologia de campos rupestres quartzíticos e ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Acta Botanica Brasílica*, 26(1): 230-242.
- Messias, M.C.T.B.; Leite, M.G.P.; Meira Neto, J.A.A.; Kozovits, A.R. & Tavares, R. 2013. Soil-vegetation relationship in quartzitic and ferruginous Brazilian rocky outcrops. *Folia Geobot.*, 48: 509-521.
- MMA. 2008. *Instrução normativa n.06, 23/09/2008*. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/179/arquivos/179_05122008033615.pdf. Acesso em: 20/08/2014.
- Mourão, A. & Stehmann, J.R. 2007. Levantamento da flora do campo rupestre sobre canga hematítica couraçada remanescente na Mina do Brucutu, Barão de Cocais, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia*, 58(4): 775-786.
- Paggi, G.M.; Louzada, R.B.; Ishii, I.H.; Takahasi, A.; Arruda, R.O. & Lorenz-Lemke, A.P. 2015. Rediscovering *Dyckia excelsa* (Bromeliaceae) in Mato Grosso do Sul, Brazil: taxonomy, geographic distribution, and notes on leaf anatomy. *Systematic Botany*, 40(1). DOI 10.1600/036364415X686422.
- Phillips, D.L. 1981. Succession in granite outcrop shrub-tree communities. *The American Midland Naturalist*, 106(2): 313-317
- Porembski, S.; Fischer, E. & Biedinger, N. 1997. Vegetation of inselbergs, quartzitic outcrops and ferricretes in Rwanda and eastern Zaire (Kivu). *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg.*, 66: 81-99.
- Porembski, S., Martinelli, G., Ohlemüller, R. & Barthlott, W. 1998. Diversity and ecology of saxicolous vegetation mats on inselbergs in the Brazilian Atlantic rainforest. *Diversity and Distributions*, 4: 107-119.
- Pott, A.; Silva, J.S.V.; Salis, S.M.; Pott, V.J. & Silva, M.P. 2000. Vegetação e uso da terra. In: Silva, J.S.V. *Zoneamento ambiental da borda oeste do Pantanal: maciço do Urucum e adjacências*. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. p. 111-131.

- Ribeiro, K.T.; Medina, B.M.O. & Scarano, F.R. 2007. Species composition and biogeographic relations of the rock outcrop flora on the high plateau of Itatiaia, SE-Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, 30(4): 623-639.
- Rizzini, C.T. 1997. *Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos*. 2ª edição. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda. 747 p.
- Sarthou, C.; Kounda-Kiki, C.; Vaçulik, A.; Mora, P. & Ponge, J.-F. 2009. Successional patterns on tropical inselbergs: A case study on the Nouragues inselberg (French Guiana). *Flora*, 204: 396-407.
- Sarthou, C. & Villiers, J.-F. 1998. Epilithic plant communities on inselbergs in French Guiana. *Journal of Vegetation Science*, 9: 847-860.
- Secco, R.S. & Mesquita, A.L. 1983. Notas sobre a vegetação de canga na Serra Norte - I. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 59: 1-13.
- Shure, D. & Ragsdale, H.L. 1977. Patterns of primary succession on granite outcrop surfaces. *Ecology*, 58: 993-1006.
- Silva, M.F.F. 1991. Análise florística da vegetação que cresce sobre canga hematítica em Carajás - Pará (Brasil). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Botânica*, 7(1): 79-107.
- Silva, R.R. & Tozzi, A.M.G.A. 2011. Uma nova espécie de *Mimosa* L. (Leguminosae, Mimosoideae) do Centro-Oeste do Brasil. *Hoehnea*, 38(1): 143-146.
- Souza, N.M.; Botelho, T.G.; Urquiza, M.V.S.; Andre, C.B.D.S.; Trindade, A.C.; Ishii, I.H. & Takahasi, A. 2013. *Florística de ilhas de solo em bancadas lateríticas no Parque Municipal Piraputangas, Corumbá, MS*. In: 6º Simpósio sobre Recursos Naturais e Socioeconômicos do Pantanal. Corumbá. *Anais...* CD-Rom.
- Takahasi, A. 2010. *Ecologia da vegetação em bancadas lateríticas em Corumbá, MS*. Tese de Doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo. 255 p.
- Takahasi, A. & Meirelles, S.T. 2014. Ecologia da vegetação herbácea de bancadas lateríticas (cangas) em Corumbá, MS, Brasil. *Hoehnea*, 41(4): 515-528.
- Trindade, A.C.; Andre, C.B.D.S.; Rodrigues, A.K.C.; Urquiza, M.V.S.; Mendes, F.L.; Ishii, I.H. & Takahasi, A. 2013. *Vegetação efêmera em habitats sazonalmente inundados em bancadas lateríticas, Corumbá, MS*. In: XI Congresso de Ecologia. Porto Seguro. *Anais...* CD-Rom.
- Viana, P.L. & Lombardi, J.A. 2007. Florística e caracterização dos campos rupestres sobre canga na Serra da Calçada, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguesia*, 58(1): 159-177.
- Vincent, R.C. & Meguro, M. 2008. Influence of soil properties on the abundance of plant species in ferruginous rocky soils vegetation, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, 31(3): 377-388.

FLORA E VEGETAÇÃO EM SUBSTRATOS FERRUGINOSOS DO SUDESTE DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

Maria Cristina Teixeira Braga Messias & Flávio Fonseca do Carmo

Introdução

A grande diversidade vegetal e a tipicidade da flora das cangas do Quadrilátero Ferrífero estão relatadas em diversos estudos, que remontam aos trabalhos dos antigos naturalistas como Richard Burton, Peter Claussen, Marianne North, Johann M. Rugendas, Augustin François C. P. de Saint-Hilaire, Karl Friedrich Philipp von Martius e Eugenius Warming (Carmo & Jacobi, 2012).

O Quadrilátero Ferrífero (QF) abriga grande parte dos ecossistemas sobre canga no Brasil. As áreas sobre canga possuem uma variedade de tipologias fitofisionômicas que variam desde formações mais abertas, como os campos rupestres, até formações florestais. E ainda, dentro de cada uma dessas fitofisionomias, são encontrados diversos tipos de *microhabitats*. Jacobi *et al.* (2007) descrevem esses *microhabitats* como: lajeados (crostas de lateritas expostas), fendas, depressões e poros (regiões de acúmulo de solo), escarpas (que variam dependendo da exposição solar, podendo conter espécies ombrófilas ou heliófitas), bordas de afloramentos (normalmente com presença de entradas de cavernas), pequenas poças efêmeras, lagoas, canais de drenagem, brejos e formações florestais (capões). Essa grande variedade de ambientes está diretamente relacionada à elevada diversidade biológica. Entretanto, restam poucas áreas naturais em bom estado de conservação no QF. Grande parte dessas áreas são de propriedade de empresas de mineração e encontram-se impactadas, principalmente pela extração de minério de ferro, causando a perda irreversível de áreas de cangas (Jacobi *et al.*, 2011).

A região sudeste do QF abarca os municípios de Ouro Preto e Mariana. Nessa região, a alta diversidade e a ocorrência de espécies raras, microendêmicas e ameaçadas de extinção, evidencia a necessidade da conservação das cangas. No entanto, devido ao alto interesse minerário, essas áreas estão extremamente ameaçadas. Além disso, este geossistema não está protegido por nenhuma unidade de conservação de proteção integral. Parte das cangas dessa região se encontra na zona de amortecimento do Parque Estadual do Itacolomi, em Ouro Preto, onde ocorreu a exploração de bauxita.

Destaca-se ainda o fato de que as cangas constituem importantes áreas de recarga de aquíferos, com grande concentração de nascentes, córregos e rios que drenam para as bacias dos rios Conceição e Piracicaba e para a bacia do Rio das Velhas, importantes afluentes, respectivamente, dos rios Doce e São Francisco. Estes mananciais são considerados estratégicos inclusive

para o abastecimento presente e futuro da região metropolitana de Belo Horizonte, em face do seu contínuo crescimento populacional. Há ainda a presença de lagoas temporárias de altitude, que são formações únicas e raras.

A literatura sobre as cangas ainda é incipiente. Os levantamentos florísticos já realizados para o QF, não incluindo as localidades do Sudeste citadas no presente capítulo, apontam uma elevada diversidade. Carmo & Jacobi (2013) relatam a existência de 102 famílias, 418 gêneros e 1080 espécies de plantas vasculares. Em Ouro Preto e Mariana, os capões isolados de matas nebulares são encontrados geralmente entre altitudes de 1.500 m e 1.800 m. Algumas vezes, esses capões crescem sobre antigas dolinas ou claraboias formadas pelo desabamento dos tetos das cavernas de canga. Estas áreas são importantes e ímpares por possuírem aspectos característicos, tanto pela tipicidade do substrato quanto pela altitude, o que determina uma flora e fitofisionomia diferenciada das demais porções florestais em outros tipos de substratos e em altitudes menores (Carmo & Jacobi, 2012). A composição florística inclui espécies típicas de altitude e aquelas ocorrentes em áreas de grande umidade, como *Drimys brasiliensis* Miers, *Eremanthus incanus* (Less.) Less., *Ilex* L. spp., *Ouratea semiserrata* (Mart. & Nees) Engl. e espécies de Myrtaceae e Lauraceae (Oliveira-Filho & Fontes, 2000).

Levantamentos florísticos em substratos ferruginosos do sudeste do Quadrilátero Ferrífero

Os levantamentos realizados no sudeste do QF apresentados a seguir não foram exclusivos das cangas, sendo amostrada também a vegetação sobre os itabiritos e sobre latossolos férricos com textura cascalhenta devido à ocorrência de concreções ferruginosas. Alguns levantamentos também amostraram crostas lateríticas alumino-ferruginosas, associadas aos depósitos de bauxita (Fig. 1). Essas “cangas aluminosas” ainda são muito pouco estudadas e as áreas remanescentes sobre bauxita são muito pequenas, e muitas delas já se encontram bastante alteradas (Fig. 2). Dentre os estudos sobre essas cangas, podem-se citar os trabalhos de Scalon *et al.* (2012) e Dutra *et al.* (2005).

Além da vegetação epilítica, as espécies também se desenvolvem em manchas de solo acumuladas em fendas e depressões, entre os blocos ou entradas de cavernas. Entre as fitofisionomias sobre cangas também ocorrem os capões florestais - ainda pobremente estudados - e áreas abertas com fisionomias campestres. Sobre os solos férricos com textura cascalhenta ou em áreas formadas por depósitos de tálus, podem ocorrer fisionomias savânicas como os campos limpos e campos sujos (Fig. 3).

A partir dos estudos desenvolvidos em cangas e outros substratos ferruginosos do sudeste do Quadrilátero Ferrífero, realizados por Roschel (2000), Dutra (2005), Dutra *et al.* (2005), Dutra *et al.* (2008a; 2008b), Ataíde *et al.* (2010); Santos (2010); Messias *et al.* (2011; 2012a; 2012b) e Scalon *et al.* (2012), no Parque Estadual do Itacolomi e nas serras de Ouro Preto e Antônio Pereira, com altitude variando de 890 a 1.250 m, foram inventariadas 616 espécies de plantas



Figura 1 - Cangas alumino-ferruginosas, associadas aos depósitos de bauxita, em Ouro Preto, Minas Gerais. Foto: Maria Cristina Messias.



Figura 2 - Área de canga aluminosa degradada pela exploração de bauxita e “cascalho”, na Zona de Amortecimento do Parque Estadual do Itacolomi, Ouro Preto, Minas Gerais. Foto: Flávio do Carmo.



Figura 3 – Fisionomia savânica sobre solos férricos com textura cascalhenta, ao fundo a Serra do Itacolomi. (a); e sobre depósitos de tálus de origem ferrífera (b), onde predominam as ervas e subarbustos, em Ouro Preto, Minas Gerais. Fotos: Flávio do Carmo.

vasculares, reunidas em 326 gêneros e 101 famílias (Tab. 1). As famílias com maior riqueza de espécies foram (Fig. 4): Asteraceae (64), Orchidaceae (57), Fabaceae (47), Poaceae (31), Melastomataceae (27), Myrtaceae (24), Rubiaceae (23), Euphorbiaceae (17), Cyperaceae e Solanaceae (15), Bromeliaceae (14), Apocynaceae e Verbenaceae (13), Lauraceae (12), Convolvulaceae (11) e Malvaceae (10). Carmo e Jacobi (2012) também relatam que levantamentos das cangas do QF revelam padrões de riqueza de espécies nessas famílias.

O hábito de crescimento que apresentou a maior riqueza de espécies é o herbáceo, seguido pelos arbustos, subarbustos, árvores e lianas (Tab. 1). No entanto, estudos têm revelado que as espécies fanerofíticas (*sensu* Raunkiaer, 1934), incluindo subarbustos, arbustos, lianas e árvores, dominam nos campos rupestres sobre canga, contrastando com alguns campos rupestres sobre quartzito, que possuem maior proporção de hemicriptófitas (Messias *et al.* 2011; 2012a). De acordo com esses autores, fatores edáficos, em especial os aspectos físicos, condicionam uma variação na fitofisionomia. Os topos das serras contendo áreas com canga exposta possuem uma vegetação mais rala, composta principalmente por estrato arbustivo a subarbustivo, entremeada por ervas, em especial as plantas rupícolas, com diversas espécies de Orchidaceae, Bromeliaceae e Eriocaulaceae, entre outras. Em pequenas regiões onde se acumula solo nesses afloramentos, verifica-se a dominância de gramíneas e ciperáceas. Já nas fendas ou fissuras das concreções observam-se arbustos e subarbustos de diversas famílias como, por exemplo, Asteraceae, Melastomataceae, Malpighiaceae, Verbenaceae, Lauraceae, Myrtaceae e Leguminosae, entre outras. Os *habitats* das espécies ocorrentes no sudeste do QF foram agrupados em duas categorias:

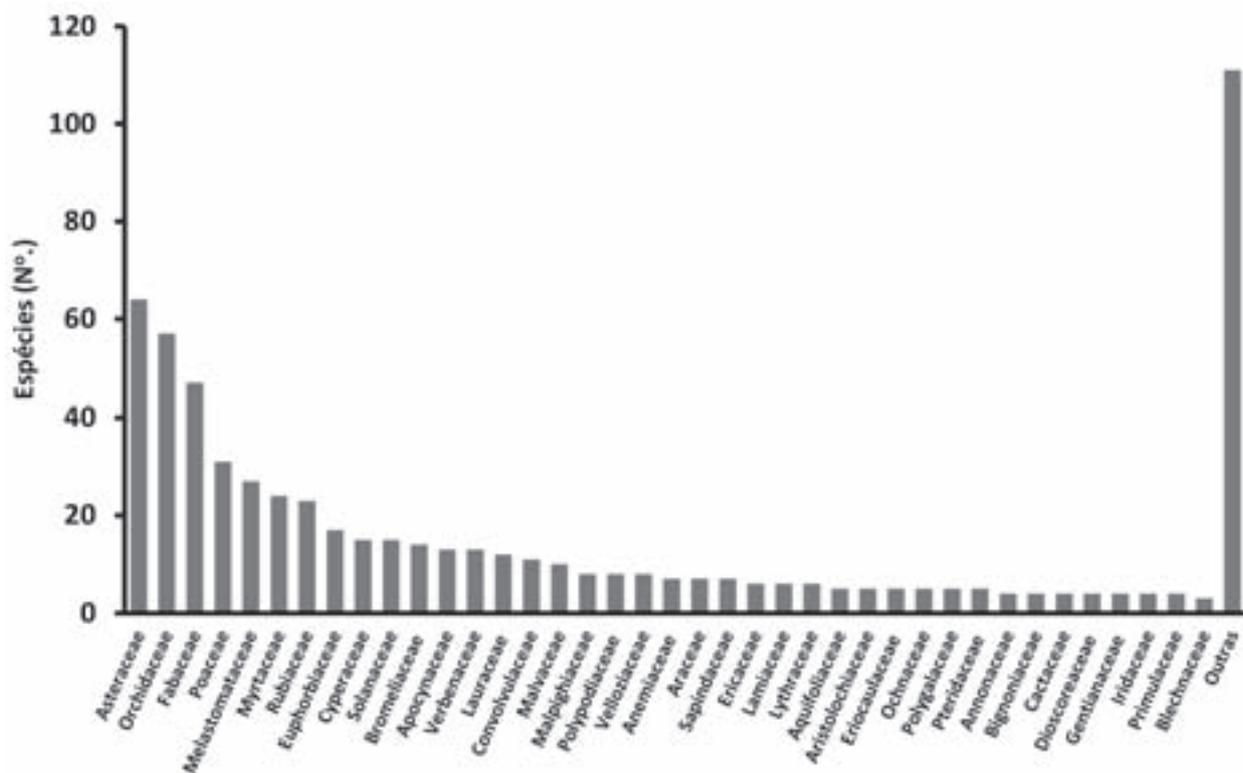


Figura 4 - Famílias com maior riqueza de espécies em cangas, na região sudeste do Quadrilátero Ferrífero.

Formações Abertas (AA) e Capões (CA), onde estão as formações campestres e florestais, incluindo os campos sujos (Tab. 1).

Entre as espécies apresentadas neste capítulo (Tab. 1), 26 estão citadas nas listas oficiais da flora ameaçada de extinção do Brasil (Brasil, 2014) e de Minas Gerais (COPAM, 1997). Entre elas estão a gramínea *Paspalum brachytrichum* Hack. e a bromélia *Vriesea minarum* L.B.Sm., ambas endêmica das cangas do QF (Fig. 5). Entretanto, sete espécies endêmicas do Quadrilátero Ferrífero, cujas populações também estão sofrendo declínio devido à perda e à degradação de áreas naturais de cangas e itabiritos, não foram incluídas naquelas listas oficiais. Entre essas espécies estão as plantas endêmicas das cangas *Mimosa calodendron* Mart. ex Benth. e *Lippia rubiginosa* Schauer. Estes dados denotam uma relevante riqueza da flora, ratificando a importância da preservação dos ecossistemas sobre cangas nessa região e a constante revisão das listas.

Estudos da composição química dos substratos sobre cangas têm revelado ampla variação, tanto de nutrientes quanto de metais. Por exemplo, as cangas da Serra de Antônio Pereira, Ouro Preto (Messias *et al.* 2013) mostraram-se mais ricas em teores disponíveis de Fe, K, Mn e Zn do que aquelas analisadas por Vincent & Meguro (2008) na Serra do Rola Moça, Nova Lima (região noroeste do QF). Por outro lado, estas últimas mostraram um maior teor de nutrientes, como Ca e P, e de metais, como Cu, do que as primeiras. A heterogeneidade ambiental, representada, por exemplo, pelas variações químicas dos substratos e pelas diferenças altitudinais dos afloramentos, provavelmente determina a elevada diversidade beta encontrada nas comunidades de plantas associadas às cangas.



Figura 5 – Espécies endêmicas do Quadrilátero Ferrífero e citadas nas listas oficiais da flora ameaçada de extinção. A) gramínea *Paspalum brachytrichum* Hack., citada na categoria Criticamente em Perigo; B) bromélia *Vriesea minarum* L.B.Sm., citada na categoria Em Perigo. Fotos: Flávio do Carmo.

Considerações Finais

Novos estudos ainda são necessários para a confirmação de endemismos nas cangas e itabiritos dessa porção do QF. Algumas espécies descritas recentemente como *Cryptanthus ferrarius* Leme & C.C.Paula (Leme & Paula, 2009) e *Vellozia dracaenoides* R.J.V. Alves & N.G. Silva, sp. nov. (Alves *et al.*, 2014) possuem a distribuição geográfica bastante restrita a algumas áreas de cangas e itabiritos do sudeste do QF. A maioria das áreas de canga dessa região está fora de unidades de conservação de proteção integral, tornando urgente o desenvolvimento de políticas públicas adequadas a gestão desses sistemas, incluindo o uso racional dos recursos naturais.

Tabela 1 - Lista das espécies de plantas vasculares ocorrentes nas cangas da região sudeste do Quadrilátero Ferrífero e seus respectivos hábitos de crescimento (HC) e *habitats* de ocorrência (AA= áreas abertas, CA=capões; AR=árvore, AB=arbusto, SA=subarbusto, ER=ervas, PA=parasita, LI=liana, LBR = Lista oficial das espécies ameaçadas do Brasil (2014), LMG = Lista das espécies ameaçadas de Minas Gerais (1997). *= Endêmica do QF, **=Endêmica das cangas do QF, AE=Ameaçada de extinção, CR=criticamente em perigo, EN=em perigo, NT= Quase Ameaçada de Extinção, VU=vulnerável, DD=deficiência de dados).

FAMÍLIAS/ Espécies	HC	Habitat		LBR	LMG
		AA	CA		
ACANTHACEAE					
<i>Ruellia macrantha</i> (Mart. ex Ness) Lindau	SA	x	x		
ALSTROEMERACEAE					
<i>Alstroemeria rupestris</i> M.C.Assis	ER	x			
AMARANTHACEAE					
<i>Alternanthera brasiliana</i> (L.) Kuntze	ER	x			
<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb.	ER	x			
AMARYLLIDACEAE					
<i>Hippeastrum morelianum</i> Lem.	ER	x		VU	
ANACARDIACEAE					
<i>Tapirira obtusa</i> (Benth.) J.D.Mitch.	AB		x		
ANEMACEAE					
<i>Anemia ferruginea</i> Humb. & Bonpl. ex Kunth	ER		x		
<i>Anemia hirsuta</i> (L.) Sw.	ER		x		
<i>Anemia mandioccana</i> Raddi	ER		x		
<i>Anemia pallida</i> Gardner	ER	x			
<i>Anemia phyllitidis</i> (L.) Sw	ER	x			
<i>Anemia raddiana</i> Link	ER	x			
<i>Anemia villosa</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	ER	x			
ANNONACEAE					
<i>Guatteria sellowiana</i> Schtdl.	AR		x		VU
<i>Guatteria villosissima</i> A.St.-Hil.	AR	x	x		VU
<i>Xylopia brasiliensis</i> Spreng.	AR		x		
<i>Xylopia sericea</i> A.St.-Hil.	AR		x		
APIACEAE					
<i>Eryngium eurycephalum</i> Malme	ER	x			
<i>Hydrocotyle quinqueloba</i> Ruiz & Pav.	ER	x			
APOCYNACEAE					
<i>Asclepias curassavica</i> L.	ER	x			
<i>Blepharodon pictum</i> (Vahl) W.D.Stevens	LI	x			
<i>Ditassa aequicymosa</i> E.Fourn.	LI	x			
<i>Ditassa laevis</i> Mart.	LI	x	x	EN	VU
<i>Ditassa linearis</i> Mart.	LI	x	x		VU
<i>Ditassa mucronata</i> Mart.	LI	x	x		
<i>Mandevilla martiana</i> (Stadelm.) Woodson	LI	x	x		
<i>Mandevilla moricandiana</i> (A.DC.) Woodson	LI		x		

Tabela 1 - continuação...

FAMÍLIAS/ Espécies	HC	Habitat		LBR	LMG
		AA	CA		
<i>Mandevilla tenuifolia</i> (J.C.Mikan) Woodson	ER	x			
<i>Minaria decussata</i> (Mart.) T.U.P.Konno & Rapini	SA	x	x		
<i>Orthosia scoparia</i> (Nutt.) Liede & Meve	LI	x			
<i>Oxypetalum appendiculatum</i> Mart.	LI	x			
<i>Peplonia organensis</i> (E.Fourn.) Fontella & Rapini	LI	x			
APODANTHACEAE					
<i>Pilostyles blanchetii</i> (Gardner) R.Br	PA		x		
AQUIFOLIACEAE					
<i>Ilex affinis</i> Gardner	AR		x		
<i>Ilex conocarpa</i> Reissek	AR	x			
<i>Ilex pseudobuxus</i> Reissek	AB	x			
<i>Ilex subcordata</i> Reissek	AB	x	x		
<i>Ilex theezans</i> Mart. ex Reissek	AR		x		
ARACEAE					
<i>Anthurium megapetiolum</i> E.G.Gonç.	ER		x		
<i>Anthurium minarum</i> Sakur. & Mayo	ER	x	x		
<i>Anthurium sellowianum</i> Kunth	ER	x	x		
<i>Philodendron cordatum</i> Kunth ex Schott	ER	x	x		
<i>Philodendron minarum</i> Engl.	LI		x		
<i>Philodendron propinquum</i> Schott	LI		x		
<i>Philodendron rhizomatosum</i> Sakur. & Mayo	ER	x			
ARALIACEAE					
<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire <i>et al.</i>	AB	x	x		
<i>Schefflera vinosa</i> (Cham. & Schltdl.) Frodin & Fiaschi	AB	x			
ARECACEAE					
<i>Syagrus flexuosa</i> (Mart.) Becc.	AB		x		
ARISTOLOCHIACEAE					
<i>Aristolochia fimbriata</i> Cham.	LI	x	x		
<i>Aristolochia saxicola</i> Hoehne	LI	x			
<i>Aristolochia smilacina</i> (Klotzsch) Duch.	LI	x	x		
<i>Aristolochia</i> sp.1	LI		x		
<i>Aristolochia</i> sp.2	LI	x			
ASPLENIACEAE					
<i>Asplenium campos-portoi</i> Brade	ER		x		
<i>Asplenium praemorsum</i> Sw.	ER		x		
ASTERACEAE					
<i>Acanthospermum australe</i> (Loefl.) Kuntze	ER		x		
<i>Achyrocline albicans</i> Griseb.	ER	x			
<i>Achyrocline satureioides</i> (Lam.) DC.	ER	x	x		
<i>Acritopappus longifolius</i> (Gardner) R.M.King & H.Rob.	SA	x			
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	SA	x			
<i>Aster squamatus</i> (Spreng.) Hieron.	SA	x			
<i>Baccharis dentata</i> (Vell.) G.M.Barroso	AB	x	x		

Tabela 1 - continuação...

FAMÍLIAS/ Espécies	HC	Habitat		LBR	LMG
		AA	CA		
<i>Baccharis dracunculifolia</i> DC.	AB	x			
<i>Baccharis lychnophora</i> Gardner	AB	x		VU	CR
<i>Baccharis platypoda</i> DC.	AB	x	x		
<i>Baccharis punctulata</i> DC.	AB	x	x		
<i>Baccharis reticularia</i> DC.	AB	x	x		
<i>Baccharis serrulata</i> (Lam.) Pers.	SA	x			
<i>Baccharis trimera</i> (Less.) DC.	SA	x			
<i>Barrosoa organensis</i> (Gardner) R.M.King & H.Rob.	SA	x			
<i>Bidens brasiliensis</i> Sherff	LI		x		
<i>Bidens pilosa</i> L.	SA	x			
<i>Calea nitida</i> Less.	SA	x			
<i>Chaptalia integerrima</i> (Vell.) Burkart	ER		x		
<i>Chromolaena multiflosculosa</i> (DC.) R.M.King & H.Rob.*	SA	x			
<i>Chromolaena squalida</i> (DC.) R.M.King & H.Rob.	AB	x	x		
<i>Cyrtocymura scorpioides</i> (Lam.) H.Rob.	SA	x	x		
<i>Dasyphyllum sprengelianum</i> (Gardner) Cabrera	AB	x			
<i>Echinocoryne holosericea</i> (Mart. ex DC.) H.Rob.	AB	x	x		
<i>Emilia fosbergii</i> Nicolson	ER	x			
<i>Emilia sonchifolia</i> (L.) DC. ex Wight.	ER	x			
<i>Erechtites hieracifolius</i> (L.) Raf. ex DC.	SA	x			
<i>Erechtites valerianifolius</i> (Wolf) DC.	SA	x			
<i>Eremanthus crotonoides</i> (DC.) Sch.Bip.	AR	x	x		
<i>Eremanthus erythropappus</i> (DC.) MacLeish	AR	x	x		
<i>Eremanthus incanus</i> (Less.) Less.	AR	x	x		
<i>Gnaphalium purpureum</i> L.	SA	x	x		
<i>Gymnanthemum amygdalinum</i> (Delile) Sch.Bip. ex Walp.	AB	x			
<i>Hololepis pedunculata</i> (DC. ex Pers.) DC.	AB	x	x		EN
<i>Hypochoeris chillensis</i> (Kunth) Britton	ER		x		
<i>Koanophyllon adamantium</i> (Gardner) R.M.King & H.Rob.	SA	x	x		EN
<i>Koanophyllon</i> sp.	AB	x			
<i>Lepidaploa rufogrisea</i> (A.St.-Hil.) H.Rob.	AB	x	x		
<i>Lepidaploa vauthieriana</i> (DC.) H.Rob.	AB		x		
<i>Lessingianthus rubricaulis</i> (Humb. & Bonpl.) H.Rob.	AB		x		
<i>Lychnophora pinaster</i> Mart.*	AB	x	x		VU
<i>Lychnophora syncephala</i> (Sch.Bip.) Sch.Bip.	AB	x		EN	VU
<i>Mikania cordifolia</i> (L.f.) Willd.	LI	x			
<i>Mikania hirsutissima</i> DC.	LI		x		
<i>Moquinia racemosa</i> (Spreng.) DC.	AB		x		
<i>Morithamnus ganophyllus</i> (Mattf.) R.M.King & H.Rob.	SA	x			
<i>Piptocarpha axillaris</i> (Less.) Baker	AR		x		
<i>Piptocarpha macropoda</i> (DC.) Baker	AR		x		
<i>Pseudobrickellia angustissima</i> (Spreng. ex Baker) R.M.King & H.Rob.	AB	x			
<i>Pterocaulon alopecuroides</i> (Lam) DC.	ER		x		

Tabela 1 - continuação...

FAMÍLIAS/ Espécies	HC	Habitat		LBR	LMG
		AA	CA		
<i>Richterago amplexifolia</i> (Gardner) Kuntze	ER		x		
<i>Senecio brasiliensis</i> (Spreng.) Less.	AB	x			
<i>Senecio pohlii</i> Sch.Bip. ex Baker	SA	x	x		VU
<i>Sphagneticola trilobata</i> (L.) Pruski	ER		x		
<i>Symphopappus</i> sp.	SA		x		
<i>Tagetes minuta</i> L.	SA	x			
<i>Trichogonia attenuata</i> G.M. Barroso	A	x			
<i>Trichogonia eupatorioides</i> (Gardner) R.M.King & H.Rob.	SA		x		
<i>Trichogonia grazielae</i> R.M.King & H.Rob.	ER	x			
<i>Trichogonia hirtiflora</i> (DC.) Sch.Bip. ex Baker	SA	x	x		
<i>Vernonanthura divaricata</i> (Spreng.) H.Rob.	AR		x		
<i>Vernonanthura ferruginea</i> (Less.) H.Rob.	AR	x			
<i>Vernonanthura phosphorica</i> (Vell.) H.Rob.	AB	x			
<i>Vernonanthura westiniana</i> (Less.) H.Rob.	AB	x			
BEGONIACEAE					
<i>Begonia alchemilloides</i> Meisn. ex A.DC.	ER				
<i>Begonia rufa</i> Thunb.	ER				
BIGNONIACEAE					
<i>Anemopaegma chamberlaynii</i> (Sims) Bureau & K.Schum.	LI	x			
<i>Fridericia samydoides</i> (Cham.) L.G.Lohmann	LI		x		
<i>Handroanthus albus</i> (Cham.) Mattos	AR		x		VU
<i>Pyrostegia venusta</i> (Ker Gawl.) Miers	LI		x		
BLECHNACEAE					
<i>Blechnum brasiliense</i> Desv.	ER		x		
<i>Blechnum polypodioides</i> Raddi	ER		x		
<i>Blechnum schomburgkii</i> (Klotzsch) C. Chr.	ER		x		
BORAGINACEAE					
<i>Cordia curassavica</i> (Jacq.) Roem. & Schult.	AR	x			
BROMELIACEAE					
<i>Aechmea bromeliifolia</i> (Rudge) Baker	ER		x		
<i>Aechmea lamarchei</i> Mez	ER		x		
<i>Ananas sagenaria</i> (Arruda) Schult. & Schult.f.	ER		x		
<i>Billbergia zebrina</i> (Herb.) Lindl.	ER		x		
<i>Billbergia</i> sp.	ER	x			
<i>Cryptanthus schwackeanus</i> Mez.*	ER	x	x		
<i>Dyckia cinerea</i> Mez	ER	x			
<i>Dyckia elata</i> Mez	ER	x	x		
<i>Dyckia rariflora</i> Schult. & Schult.f.	ER	x	x	EN	
<i>Tillandsia gardneri</i> Lindl.	EE		x		
<i>Tillandsia stricta</i> Sol.	EE		x		
<i>Tillandsia tenuifolia</i> L.	EE		x		
<i>Vriesea crassa</i> Mez	ER		x		
<i>Vriesea minarum</i> L.B.Sm.*	ER	x	x	EN	

Tabela 1 - continuação...

FAMÍLIAS/ Espécies	HC	Habitat		LBR	LMG
		AA	CA		
CACTACEAE					
<i>Epiphyllum phyllanthus</i> (L.) Haw.	EE		x		
<i>Hattoria salicornioides</i> (Haw.) Britton & Rose	EE	x			
<i>Hylocereus setaceus</i> (Salm-Dyck) R. Bauer	EE		x		
<i>Rhipsalis floccosa</i> Salm-Dyck ex Pfeiff.	EE		x		
CAMPANULACEAE					
<i>Siphocampylus imbricatus</i> (Cham.) G. Don	AS	x			
<i>Siphocampylus verticillatus</i> (Cham.) G. Don	SA	x			
<i>Siphocampylus</i> sp.	AS	x			
CELASTRACEAE					
<i>Maytenus gonoclada</i> Mart.	AR	x			
CLETHRACEAE					
<i>Clethra scabra</i> Pers.	AR		x		
CLUSIACEAE					
<i>Clusia arrudea</i> Planch. & Triana ex Engl.	AR		x		
COMMELINACEAE					
<i>Commelina benghalensis</i> L.	ER	x	x		
<i>Commelina erecta</i> L.	ER	x	x		
CONVOLVULACEAE					
<i>Cuscuta racemosa</i> Mart.	PA	x			
<i>Evolvulus aurigenus</i> Mart.	LI	x			
<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.	LI	x			
<i>Ipomoea cairica</i> (L.) Sweet	LI	x	x		
<i>Ipomoea</i> sp.1	LI	x			
<i>Ipomoea</i> sp.2	LI	x			
<i>Jacquemontia densiflora</i> (Meisn.) Hallier f.	LI	x			
<i>Jacquemontia martii</i> Choisy.	LI	x			
<i>Jacquemontia prostrata</i> Choisy*	LI	x			
<i>Merremia cissoides</i> (Lam.) Hallier f.	LI	x			
<i>Merremia macrocalyx</i> (Ruiz & Pav.) O'Donell	LI	x	x		
CUCURBITACEAE					
<i>Melothrianthus smilacifolius</i> (Cogn.) Mart. Crov.	LI		x		
CUNONIACEAE					
<i>Lamanonia ternata</i> Vell.	AB		x		
CYATHEACEAE					
<i>Cyathea delgadii</i> Sternb.			x		
CYPERACEAE					
<i>Bulbostylis barbata</i> (Rottb.) C.B. Clarke	ER	x			
<i>Bulbostylis capillaris</i> (L.) C.B. Clarke	ER		x		
<i>Bulbostylis jacobinae</i> (Steud.) Lindm.	ER	x			
<i>Bulbostylis juncooides</i> (Vahl) Kük.	ER	x			
<i>Cyperus</i> sp.	ER	x			
<i>Dichromena</i> sp.	ER	x			

Tabela 1 - continuação...

FAMÍLIAS/ Espécies	HC	Habitat		LBR	LMG
		AA	CA		
<i>Lagenocarpus rigidus</i> Ness	ER	x	x		
<i>Lagenocarpus velutinus</i> Ness	ER	x	x		
<i>Rhynchospora recurvata</i> (Schrad. ex Nees) Steud.	ER		x		
<i>Rhynchospora setigera</i> (Kunth.) Boeckeler	ER	x			
<i>Rhynchospora tenuis</i> Link	ER	x			
<i>Rhynchospora</i> sp.1	ER	x			
<i>Rhynchospora</i> sp.2	ER	x			
<i>Scleria</i> sp.	ER	x	x		
<i>Trilepis microstachya</i> (C.B.Clarke) H.Pfeiff.	ER	x	x		
DIOSCOREACEAE					
<i>Dioscorea campestris</i> Griseb.	ER	x			
<i>Dioscorea debilis</i> Uline ex R.Knuth	LI	x	x		
<i>Dioscorea filiformis</i> Griseb.	LI	x	x		
<i>Dioscorea ovata</i> Vell.	LI		x		
DRYOPTERIDACEAE					
<i>Arachniodes denticulata</i> (Sw.) Ching	ER		x		
<i>Elaphoglossum langsdorffii</i> (Hook. & Grev.) T. Moore	ER		x		
<i>Elaphoglossum macrophyllum</i> (Mett. ex Kuhn) Christ	ER		x		
ERICACEAE					
<i>Agarista coriifolia</i> (Thunb.) Hook. ex Nied.	AB	x			
<i>Agarista pulchella</i> var. <i>cordifolia</i> (Meisn.) Judd	AB	x			
<i>Agarista pulchra</i> (Cham. & Schtdl.) G. Don	AB		x		
<i>Gaylussacia amoena</i> Cham.	AB		x		
<i>Gaylussacia brasiliensis</i> (Spreng.) Meisn.	AB	x			
<i>Gaylussacia reticulata</i> Mart. ex Meisn. var. <i>reticulata</i>	AB	x			
ERIOCAULACEAE					
<i>Actinocephalus bongardii</i> (A.St.-Hil.) Sano	ER		x		
<i>Paepalanthus cacuminis</i> Ruhland	ER		x		
<i>Paepalanthus dianthoides</i> Mart.	ER		x		
<i>Paepalanthus exiguus</i> (Bong.) Körn.	ER	x			
<i>Paepalanthus planifolius</i> (Bong.) Körn.	ER	x	x		
ERYTHROXYLACEAE					
<i>Erythroxylum amplifolium</i> (Mart.) O.E.Schulz	AB		x		
<i>Erythroxylum gonocladum</i> (Mart.) O.E.Schulz	AB		x		
<i>Erythroxylum microphyllum</i> A.St.-Hil.	AB		x		
EUPHORBIACEAE					
<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll.Arg.	AR	x			
<i>Astraea comosa</i> (Müll.Arg.) B.W.van Ee	SA	x			
<i>Astraea lobata</i> (L.) Klotzsch	SA	x			
<i>Croton erythroxylodes</i> Baill.	SA	x			
<i>Croton fuscescens</i> Spreng.	AB	x			
<i>Croton glandulosus</i> L.	SA	x			
<i>Croton lundianus</i> (Didr.) Müll.Arg.	SA	x			

Tabela 1 - continuação...

FAMÍLIAS/ Espécies	HC	Habitat		LBR	LMG
		AA	CA		
<i>Croton timandroides</i> (Dir.) Müll.Arg.	SA	x			
<i>Euphorbia hyssopifolia</i> L.	ER	x			
<i>Euphorbia thymifolia</i> L.	ER	x			
<i>Gymnanthes glandulosa</i> (Sw.) Müll.Arg.	AB	x			
<i>Maprounea brasiliensis</i> A.St.-Hil.	AB				
<i>Microstachys corniculata</i> (Vahl) Griseb.	AB	x	x		
<i>Microstachys daphnoides</i> (Mart.) Müll. Arg.	SA	x	x		
<i>Microstachys hispida</i> (Mart.) Govaerts	SA	x			
<i>Ricinus communis</i> L.	AB		x		
<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	AB		x		
FABACEAE					
<i>Abarema brachystachya</i> (DC.) Barneby & J.W.Grimes	AR		x		
<i>Acacia tenuifolia</i> (L.) Willd.	LI		x		
<i>Aeschynomene elegans</i> Schltld. & Cham.	ER	x	x		
<i>Aeschynomene falcata</i> (Poir.) DC.	SA	x	x		
<i>Bauhinia rufa</i> (Bong.) Steud.	AB	x	x		
<i>Calopogonium mucunoides</i> Desv.	LI	x			
<i>Camptosema scarlatinum</i> (Mart. ex Benth.) Burkart	LI	x			
<i>Centrosema coriaceum</i> Benth.	LI	x	x		
<i>Centrosema virginianum</i> (L.) Benth.	LI	x			
<i>Chamaecrista desvauxii</i> (Collad.) Killip	SA	x			
<i>Chamaecrista diphylla</i> (L.) Greene	SA	x			
<i>Chamaecrista hedysaroides</i> (Vogel) H.S.Irwin & Barneby	AB	x			
<i>Chamaecrista mucronata</i> (Spreng.) H.S.Irwin & Barneby	AB		x		
<i>Chamaecrista nictitans</i> (L.) Moench	SA	x			
<i>Chamaecrista ochracea</i> (Vogel) H.S.Irwin & Barneby	AB	x			
<i>Chamaecrista rotundifolia</i> (Pers.) Greene	SA	x	x		
<i>Clitoria densiflora</i> (Benth.) Benth.	SA		x		
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	AR		x		
<i>Crotalaria incana</i> L.	SA		x		
<i>Crotalaria micans</i> Link	SA		x		
<i>Crotalaria nitens</i> Kunth	SA		x		
<i>Dalbergia villosa</i> (Benth.) Benth.	AR		x		
<i>Dalbergia</i> sp.	AR	x			
<i>Desmodium adscendens</i> (Sw.) DC.	ER	x	x		
<i>Desmodium affine</i> Schltld.	ER	x	x		
<i>Desmodium incanum</i> DC.	ER	x	x		
<i>Desmodium uncinatum</i> (Jacq.) DC.	ER	x	x		
<i>Galactia martii</i> DC.	ER	x			
<i>Indigofera suffruticosa</i> Mill.	AB		x		
<i>Inga</i> sp.	AR		x		
<i>Machaerium brasiliense</i> Vogel	AR		x		
<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stelfeld	AR		x		

Tabela 1 - continuação...

FAMÍLIAS/ Espécies	HC	Habitat		LBR	LMG
		AA	CA		
<i>Macroptilium</i> sp.	LI		x		
<i>Mimosa aurivillus</i> Mart.	AB				
<i>Mimosa aurivillus</i> var. <i>calothamnos</i> (Benth.) Barneby	AB				
<i>Mimosa bimucronata</i> (DC.) Kuntze	AB	x			
<i>Mimosa calodendron</i> Mart. ex Benth. **	AB	x			
<i>Periandra mediterranea</i> (Vell.) Taub.	AB	x	x		
<i>Senna reniformis</i> (G. Don) H.S.Irwin & Barneby	AB	x			
<i>Stylosanthes montevidensis</i> Vogel	SA	x			
<i>Stylosanthes ruellioides</i> Mart.	SA		x		
<i>Stylosanthes viscosa</i> (L.) Sw.	SA	x			
<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw.	SA	x	x		
<i>Swartzia riedelii</i> R.S.Cowan	AR		x		
<i>Vigna peduncularis</i> (Kunth) Fawc. & Rendle	LI	x			
<i>Zornia curvata</i> Mohlenbr.	SA	x			
<i>Zornia reticulata</i> Sm.	SA		x		
GENTIANACEAE					
<i>Calolisianthus pedunculatus</i> (Cham. & Schtdl.) Gilg	ER		x		
<i>Calolisianthus pendulus</i> (Mart.) Gilg	ER	x			
<i>Iribachia pulcherrima</i> (Mart.) Maas	ER		x		
GESNERIACEAE					
<i>Nematanthus lanceolatus</i> (Poir.) Chautems	SA	x			
<i>Nematanthus strigillosus</i> (Mart.) H.E. Moore	SA	x	x		VU
<i>Paliavana sericiflora</i> Benth.	AB	x	x		
<i>Sinningia magnifica</i> (Otto & A. Dietr.) Wiehler	SA	x			
GLEICHENIACEAE					
<i>Dicranopteris flexuosa</i> (Schrad.) Underw.	ER	x			
<i>Sticherus lanuginosus</i> (Fée) Nakai	ER	x			
HUMIRIACEAE					
<i>Humiriastrum dentatum</i> (Casar.) Cuatrec.	AR		x		
HYMENOPHYLLACEAE					
<i>Hymenophyllum dentatum</i> Cav.	ER		x		
<i>Hymenophyllum polyanthos</i> (Sw.) Sw.	ER		x		
HYPERICACEAE					
<i>Vismia brasiliensis</i> Choisy	AB		x		
<i>Vismia magnoliifolia</i> Cham. & Schtdl.	AB		x		
IRIDACEAE					
<i>Neomarica glauca</i> (Seub. ex Klatt) Sprague	ER		x		
<i>Neomarica rupestris</i> (Ravenna) Chukr	ER	x			
<i>Sisyrinchium vaginatum</i> Spreng.	ER	x	x		
<i>Trimezia</i> sp.	ER	x	x		
LAMIACEAE					
<i>Aegiphila verticillata</i> Vell.	AB		x		
<i>Eriope macrostachya</i> Mart. ex. Benth.	AB	x			

Tabela 1 - continuação...

FAMÍLIAS/ Espécies	HC	Habitat		LBR	LMG
		AA	CA		
<i>Hyptis homalophylla</i> Pohl ex Benth.	SA		x		
<i>Hyptis marrubioides</i> Epling	SA		x		
<i>Hyptis monticola</i> Mart.ex Benth.	SA	x	x		
<i>Hyptis passerina</i> Mart.ex Benth.	SA	x			
LAURACEAE					
<i>Cassytha filiformis</i> L.	PA		x		
<i>Cinnamomum erythropus</i> (Nees & Mart.) Kosterm.	AB	x	x	EN	VU
<i>Cinnamomum quadrangulum</i> Kosterm.*	AB	x	x	VU	VU
<i>Cinnamomum sellowianum</i> (Nees & Mart.) Kosterm.	AB		x		
<i>Ocotea nutans</i> (Nees) Mez	AR	x	x		
<i>Ocotea percoriacea</i> Kosterm.	AR		x		EN
<i>Ocotea pulchella</i> (Nees & Mart.) Mez	AR		x		EN
<i>Ocotea tabacifolia</i> (Meisn.) Rohwer	AR		x		
<i>Ocotea tristis</i> (Nees & Mart.) Mez	AB		x		
<i>Persea peruviana</i> Nees	AR				
<i>Persea</i> sp.	AR		x		
<i>Phoebe</i> sp.	AB				
LOGANIACEAE					
<i>Spigelia schlechtendaliana</i> Mart.	ER	x	x		
<i>Spigelia spartioides</i> Cham.	ER	x	x		
LORANTHACEAE					
<i>Struthanthus marginatus</i> (Desr.) Blume	PA		x		
LYCOPODIACEAE					
<i>Huperzia reflexa</i> (Lam.) Trevis.	ER	x			
<i>Lycopodiella cernua</i> (L.) Pic. Serm.	ER	x			
LYTHRACEAE					
<i>Cuphea acinos</i> A.St.-Hil.	SA	x			
<i>Cuphea carthagenensis</i> (Jacq.) J.Macbr.	SA	x			
<i>Diplusodon buxifolius</i> (Cham. & Schltl.) A.DC.	SA	x			
<i>Diplusodon hirsutus</i> (Cham. & Schltl.) A.DC.	SA	x	x		
<i>Diplusodon microphyllus</i> Pohl	SA	x	x		
<i>Diplusodon myrsinites</i> DC.	SA				
MALPIGHIACEAE					
<i>Byrsonima intermedia</i> A.Juss.	AB		x		
<i>Byrsonima variabilis</i> A.Juss.	AB	x	x		
<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC.	AB	x			
<i>Heteropterys campestris</i> A.Juss.	LI	x	x		
<i>Heteropterys escalloniifolia</i> A.Juss.	LI	x	x		
<i>Niedenzuella acutifolia</i> (Cav.) W.R.Anderson	LI	x			
<i>Peixotoa tomentosa</i> A.Juss.	AB		x		
<i>Tetrapteryx</i> sp.	SA	x	x		
MALVACEAE					
<i>Hibiscus bifurcatus</i> Cav.	SA	x			

Tabela 1 - continuação...

FAMÍLIAS/ Espécies	HC	Habitat		LBR	LMG
		AA	CA		
<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.	SA	x			
<i>Pavonia montana</i> Garcke ex Gürke	AB	x			
<i>Pavonia viscosa</i> A. St.-Hil.	AB	x			
<i>Sida glaziovii</i> K.Schum.	SA		x		
<i>Sida rhombifolia</i> L.	SA		x		
<i>Sida tuberculata</i> R.E.Fr.	SA	x			
<i>Triumfetta semitriloba</i> Jacq.	SA	x			
<i>Waltheria americana</i> L.	SA	x	x		
<i>Waltheria indica</i> L.	SA	x			
MELASTOMATACEAE					
<i>Acisanthera variabilis</i> (Naud.) Triana	AB		x		
<i>Cambessedesia fasciculata</i> (Kunth) DC.	SA	x			
<i>Cambessedesia hilariana</i> (Kunth) DC.	ER	x			
<i>Cambessedesia pityrophylla</i> (Mart. ex DC.) A.B.Martins	AB	x			
<i>Comolia sertularia</i> (DC.) Triana	SA	x			
<i>Lavoisiera imbricata</i> (Thunb.) DC.	SA	x			
<i>Leandra aurea</i> (Cham.) Cogn.	AB		x		
<i>Leandra australis</i> (Cham.) Cogn.	AB	x	x		
<i>Leandra cancellata</i> Cogn.	AB				
<i>Leandra dendroides</i> (Naudin) Cogn.	SA	x	x		
<i>Marcetia taxifolia</i> (A.St.-Hil.) DC.	SA	x			
<i>Miconia cinnamomifolia</i> (DC.) Naudin	AR		x		
<i>Miconia corallina</i> Spring	AB	x	x		
<i>Miconia ligustroides</i> (DC.) Naudin	AB		x		
<i>Miconia sellowiana</i> Naudin	AB		x		
<i>Miconia valtheri</i> Naudin	AR		x		
<i>Microlicia arenariaefolia</i> DC.	SA	x			
<i>Microlicia cordata</i> (Spreng.) Cham.	SA	x			
<i>Microlicia crenulata</i> (DC.) Mart.*	SA	x			
<i>Microlicia fulva</i> (Spreng.) Cham.	SA	x			
<i>Microlicia suborbicularifolia</i> Hoehne	SA	x			
<i>Tibouchina candolleana</i> (Mart. ex DC.) Cogn.	AR	x			
<i>Tibouchina gardneriana</i> (Triana) Cogn.	AR	x	x		
<i>Tibouchina heteromalla</i> (D.Don) Cogn.	AB	x	x		
<i>Trembleya laniflora</i> (D.Don) Cogn.	AB		x		
<i>Trembleya parviflora</i> (D. Don) Cogn.	AB	x	x		
<i>Trembleya</i> sp.	AB		x		
MELIACEAE					
<i>Trichilia glabra</i> L.	AR		x		
MENISPERMACEAE					
<i>Cissampelos andromorpha</i> DC.	LI		x		
<i>Odontocarya tamoides</i> (DC.) Miers	LI		x		

Tabela 1 - continuação...

FAMÍLIAS/ Espécies	HC	Habitat		LBR	LMG
		AA	CA		
MONIMIACEAE					
<i>Mollinedia lanceolata</i> Ruiz & Pav.	AR		x		
MORACEAE					
<i>Ficus enormis</i> Mart. ex Miq.	AR		x		
MYRTACEAE					
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg.	AB	x	x		
<i>Calyptanthes pteropoda</i> O.Berg	AB	x	x		
<i>Calyptanthes pulchella</i> DC.	AB		x		
<i>Calyptanthes strigipes</i> O.Berg	AB		x		
<i>Campomanesia adamantium</i> (Cambess.) O.Berg	AB	x			
<i>Eugenia modesta</i> DC.	AB		x		
<i>Eugenia nutans</i> O.Berg	AB	x			
<i>Eugenia racemulosa</i> O.Berg	AB	x			
<i>Myrceugenia alpigena</i> (DC.) Landrum	AB		x		
<i>Myrcia amazonica</i> DC.	AB		x		
<i>Myrcia cordata</i> Cambess.	AB	x	x		
<i>Myrcia eriocalyx</i> DC.	AB	x	x		
<i>Myrcia guianensis</i> (Aubl.) DC.	AV	x			
<i>Myrcia hebeptala</i> DC.	AR		x		
<i>Myrcia mutabilis</i> (O.Berg) N.Silveira	AB	x			
<i>Myrcia pulchra</i> (O.Berg) Kiaersk.	AR	x	x		
<i>Myrcia retorta</i> Cambess.	AR		x		
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	AB	x	x		
<i>Myrcia subavenia</i> (O.Berg.) N.Silveira	AB		x		
<i>Myrcia vauthiereana</i> O.Berg	AB		x		
<i>Myrcia venulosa</i> DC.	AB	x	x		
<i>Myrciaria glanduliflora</i> (Kiaersk.) Mattos & D.Legrand	AR		x		
<i>Siphoneugena crassifolia</i> (DC.) Proença & Sobral	AR		x		
<i>Siphoneugena kiaerskoviana</i> (Burret) Kausel	AR		x		
NYCTAGINACEAE					
<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	AR		x		
OCHNACEAE					
<i>Luxemburgia corymbosa</i> A.St.-Hil.	AB	x		VU	
<i>Ouratea crassifolia</i> (Pohl) Engl.	AB	x			
<i>Ouratea floribunda</i> (A.St.-Hil.) Engl.	AB	x			
<i>Ouratea semiserrata</i> (Mart.& Nees) Engl.	AB	x	x		
<i>Sauvagesia erecta</i> L.	AB	x			
OLEACEAE					
<i>Chionanthus filiformis</i> (Vell.) P.S.Green	AB	x	x		
ONAGRACEAE					
<i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) P.H.Raven	SA	x			
ORCHIDACEAE					
<i>Acianthera limae</i> (Porto & Brade) Pridgeon & M.W.Chase	ER	x			

Tabela 1 - continuação...

FAMÍLIAS/ Espécies	HC	Habitat		LBR	LMG
		AA	CA		
<i>Acianthera prolifera</i> (Herb. Ex Lindl.) Pridgeon & M.W.Chase	ER	x			
<i>Acianthera teres</i> (Lindl.) Borba	ER	x	x		
<i>Anathallis laciniata</i> (Barb.Rodr.) F.Barros & Barberena	ER		x		
<i>Anathallis rubens</i> (Lindl.) Pridgeon & M.W.Chase	ER	x			
<i>Anathallis sclerophylla</i> (Lindl.) Pridgeon & M.W.Chase	ER	x			
<i>Bifrenaria aureofulva</i> Lindl.	ER	x			
<i>Bifrenaria harrisoniae</i> (Hook.) Rchb.f.	ER	x			
<i>Bulbophyllum carassense</i> R.C.Mota et al.*	ER	x			
<i>Bulbophyllum exaltatum</i> Lindl.	ER	x			
<i>Bulbophyllum weddellii</i> (Lindl.) Rchb.f.	ER	x			
<i>Campylocentrum micranthum</i> (Lindl.) Maury	ER		x		
<i>Campylocentrum sellowii</i> (Rchb.f.) Rolfe	ER		x		
<i>Cattleya bicolor</i> Lindl.	ER		x		
<i>Cattleya caulescens</i> (Lindl.) Van den Berg	ER	x	x	EN	
<i>Cattleya cinnabarina</i> (Bateman ex Lindl.) Van den Berg	ER	x	x		
<i>Cattleya crispata</i> (Thunb.) Van den Berg	ER	x	x		
<i>Cattleya liliputana</i> (Pabst) Van den Berg	ER	x			
<i>Comparettia coccinea</i> Lindl.	ER		x		
<i>Coppensia blanchetii</i> (Rchb.f.) Campacci	ER	x	x		
<i>Dichaea australis</i> Cogn.	EPI		x		
<i>Encyclia patens</i> Hook.	ER		x		
<i>Epidendrum armeniacum</i> Lindl.	ER	x			
<i>Epidendrum denticulatum</i> Barb.Rodr.	ER	x	x		
<i>Epidendrum filicaule</i> Lindl.	ER	x			
<i>Epidendrum martianum</i> Lindl.	ER	x	x		
<i>Epidendrum paniculatum</i> Ruiz & Pav.	ER	x			
<i>Epidendrum secundum</i> Jacq.	ER	x	x		
<i>Gomesa bifolia</i> (Sims) M.W.Chase & N.H.Williams	ER	x			
<i>Gomesa blanchetii</i> (Rchb.f.) M.W.Chase & N.H.Williams	ER	x	x		
<i>Gomesa crispa</i> (Lindl.) Klotzsch ex Rchb.f.	ER	x			
<i>Gomesa gracilis</i> (Lindl.) M.W. Chase & N.H. Williams**	ER	x	x		
<i>Gomesa warmingii</i> (Rchb.f.) M.W.Chase & N.H.Williams	ER	x			VU
<i>Grobya amherstiae</i> Lindl.	ER		x		
<i>Habenaria josephensis</i> Barb.Rodr.	ER		x		
<i>Habenaria petalodes</i> Lindl.	ER	x	x		
<i>Habenaria sp.</i>	ER	x			
<i>Isochilus linearis</i> (Jacq.) R.Br.	ER		x		
<i>Koellensteinia tricolor</i> (Lindl.) Rchb.f.	ER	x			
<i>Leptotes tenuis</i> Rchb.f.	EPI		x		
<i>Liparis nervosa</i> (Thumb.) Lindl.	EPI		x		
<i>Mormolyca rufescens</i> (Lindl.) M.A.Blanco	EPI		x		
<i>Oeceoclades maculata</i> (Lindl.) Lindl.	ER		x		
<i>Polystachya concreta</i> (Jacq.) Garay & Sweet	EPI		x		

Tabela 1 - continuação...

FAMÍLIAS/ Espécies	HC	Habitat		LBR	LMG
		AA	CA		
<i>Prescottia plantaginea</i> Lindl.	EPI		x		
<i>Prescottia stachyodes</i> (Sw.) Lindl.	ER		x		
<i>Prosthechea allemanoides</i> (Hoehne) W.E.Higgins	ER	x			
<i>Prosthechea crassilabia</i> (Poepp. & Endl.) Carnevali & I.Ramirez	ER	x			
<i>Rhetinantha notylioglossa</i> (Rchb.f.) M.A.Blanco	EPI		x		
<i>Sacoila lanceolata</i> (Aubl.) Garay	ER	x	x		
<i>Sarcoglottis schwackei</i> (Cogn.) Schltr.	ER	x			
<i>Scaphyglottis modesta</i> (Rchb.f.) Schltr.	EPI		x		
<i>Stelis modesta</i> Barb.Rodr.	EPI		x		
<i>Veyretia rupicola</i> (Garay) F.Barros	ER	x			
<i>Zygopetalum maculatum</i> (Kunth) Garay	ER	x			
<i>Zygopetalum maxillare</i> Lodd.	ER		x		
<i>Zygopetalum sellowii</i> Rchb.f.	ER		x		
OROBANCHACEAE					
<i>Agalinis angustifolia</i> (Mart.) D'Arcy		x			VU
OXALIDACEAE					
<i>Oxalis glauca</i> Kunth	ER	x			
PASSIFLORACEAE					
<i>Passiflora alata</i> Curtis	LI		x		
<i>Passiflora haematostigma</i> Mart. ex Mast.	LI	x			
<i>Passiflora villosa</i> Vell.	LI	x	x		
PERACEAE					
<i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp. ex Baill.	AR		.x		
PHYLLANTHACEAE					
<i>Phyllanthus klotzschianus</i> Müll.Arg.	ER	x			
<i>Phyllanthus rosellus</i> (Müll.Arg.) Müll.Arg.	ER	x			
PHYTOLACCACEAE					
<i>Microtea paniculata</i> Moq.	ER	x	x		
PIPERACEAE					
<i>Peperomia diaphanoides</i> Dahlst.	ER		x		
<i>Peperomia velloziana</i> Miq.	ER		x		
<i>Piper cernuum</i> Vell.	ER		x		
PLANTAGINACEAE					
<i>Plantago major</i> L.	AB		x		
<i>Plantago tomentosa</i> Lam.	ER		x		
POACEAE					
<i>Andropogon bicornis</i> L.	ER		x		
<i>Andropogon ingratus</i> Hack.	ER	x			
<i>Andropogon leucostachyus</i> Kunth	ER	x			
<i>Apochloa poliophylla</i> (Renvoize & Zuloaga) Zuloaga & Morrone	ER	x	x		
<i>Axonopus laxiflorus</i> (Trin.) Chase	ER	x	x		
<i>Axonopus pressus</i> (Nees ex Steud.) Parodi	ER	x			
<i>Axonopus siccus</i> (Nees) Kuhlman.	ER	x	x		

Tabela 1 - continuação...

FAMÍLIAS/ Espécies	HC	Habitat		LBR	LMG
		AA	CA		
<i>Urochloa decumbens</i> (Stapf) R.D.Webster	ER	x			
<i>Calamagrostis viridiflavens</i> (Poir.) Steud.	ER		x		
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	ER	x			
<i>Dichantherium sciurotooides</i> (Zuloaga & Morrone) Davidse	ER	x			
<i>Digitaria horizontalis</i> Willd.	ER	x			
<i>Eragrostis ciliaris</i> (L.) R.Br.	ER	x			
<i>Eragrostis rufescens</i> Schrad. ex Schult.	ER		x		
<i>Eragrostis</i> sp.	ER		x		
<i>Ichnanthus bambusiflorus</i> (Trin.) Döll	ER	x	x		
<i>Ichnanthus calvescens</i> Nees	ER	x			
<i>Melinis minutiflora</i> P.Beauv.	ER	x	x		
<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka	ER		x		
<i>Panicum campestris</i> Nees ex Trin.	ER		x		
<i>Panicum maximum</i> Jacq. L.Jacobs	ER	x			
<i>Panicum poliophyllum</i> Renvoize & Zuloaga	ER	x			
<i>Panicum pseudisachne</i> Mez	ER	x	x		
<i>Panicum subulatum</i> Spreng.	ER	x			
<i>Panicum wettsteinii</i> Hack.	ER	x	x		
<i>Paspalum brachytrichum</i> Hack.**	ER	x			CR
<i>Paspalum plicatulum</i> Michx.	ER	x			
<i>Schizachyrium sanguineum</i> (Retz.) Alston	ER	x	x		
<i>Schizachyrium tenerum</i> Nees	ER	x	x		
<i>Setaria parviflora</i> (Poir.) Kerguelén	ER		x		
<i>Sporobolus metallicolus</i> Longhi-Wagner & Boechat	ER	x			
POLYGALACEAE					
<i>Caamembeca oleifolia</i> (A.St.-Hil. Moq.) J.F.B.Pastore.	SA		x		
<i>Polygala glochidiata</i> Kunth	ER	x			
<i>Polygala oxyphylla</i> DC.	SA	x	x		
<i>Polygala paniculata</i> L.	ER	x			
<i>Polygala violacea</i> Aubl.	ER	x			
POLYGONACEAE					
<i>Coccoloba acrostichooides</i> Cham.	SA	x	x		
POLYPODIACEAE					
<i>Campyloneurum nitidum</i> (Kaulf.) C. Presl	ER		x		
<i>Melpomene melanosticta</i> (Kunze) A.R. Sm. & R.C. Moran					
<i>Microgramma squamulosa</i> (Kaulf.) de la Sota	ER		x		
<i>Nephrolepis pectinata</i> (Willd.) Schott	ER		x		
<i>Pecluma pectinatiformis</i> (Lindm.) M.G. Price	ER		x		
<i>Phlebodium pseudoaureum</i> (Cav.) Lellinger	ER		x		
<i>Pleopeltis astrolepis</i> (Liebm.) E.Fourn.	ER		x		
<i>Pleopeltis hirsutissima</i> (Raddi) de la Sota	ER		x		
<i>Serpocaulon latipes</i> (Langsd. & Fisch.) A.R.Sm.	ER		x		

Tabela 1 - continuação...

FAMÍLIAS/ Espécies	HC	Habitat		LBR	LMG
		AA	CA		
PORTULACACEAE					
<i>Portulaca hirsutissima</i> Cambess.	ER	x			
<i>Portulaca mucronata</i> Link	ER	x			
PRIMULACEAE					
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.	AR		x		
<i>Myrsine emarginella</i> Miq.	AB		x		
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	AB		x		
<i>Myrsine villosissima</i> Mart.	AB		x		
PROTEACEAE					
<i>Euplassa legalis</i> (Vell.) I.M.Johnst.	AB		x		
<i>Roupala montana</i> Aubl.	AB		x		
PTERIDACEAE					
<i>Doryopteris collina</i> (Raddi) J. Sm.	ER	x			
<i>Doryopteris ornithopus</i> (Hook. & Baker) J.Sm.	ER	x	x		
<i>Pellaea crenata</i> R.M.Tryon	ER		x		
<i>Pityrogramma calomelanos</i> (L.) Link	ER		x		
<i>Pteris vittata</i> L.	ER	x			
ROSACEAE					
<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.	AR		x		
<i>Rubus brasiliensis</i> Mart.	SA	x	x		
RUBIACEAE					
<i>Amaioua guianensis</i> Aubl.	AB	x	x		
<i>Augusta longifolia</i> (Spreng.) Rehder	AB		x		
<i>Borreria capitata</i> (Ruiz & Pav.) DC.	SA	x	x		
<i>Borreria latifolia</i> (Aubl.) K.Schum.	SA		x		
<i>Borreria poaya</i> (A.St.-Hil.) DC.	SA	x			
<i>Coccocypselum aureum</i> (Spreng.) Cham. & Schltld.	ER				
<i>Coccocypselum condalia</i> Pers.	ER		x		
<i>Cordia concolor</i> (Cham.) Kuntze	AB				
<i>Cordia vinosa</i> (Cham.) Kuntze	SA	x	x		
<i>Declieuxia fruticosa</i> (Willd. ex Roem. & Schult.) Kuntze	SA	x			
<i>Emmeorrhiza umbellata</i> (Spreng.) K.Schum.	ER	x			
<i>Ferdinandusa</i> sp.	SA		x		
<i>Hillia parasitica</i> Jacq.	PA		x		
<i>Palicourea marcgravii</i> A.St.-Hil.	SA	x	x		
<i>Palicourea tetraphylla</i> Cham. & Schltld.	SA		x		
<i>Psychotria pleiocephala</i> Müll.Arg..	SA		x		
<i>Psychotria stachyoides</i> Benth.	SA		x		
<i>Psychotria vellosiana</i> Benth.	SA		x		
<i>Psyllocarpus laricoides</i> Mart. ex Mart. & Zucc.	SA	x	x		
<i>Remijia ferruginea</i> (A.St.-Hil.) DC.	AB		x		
<i>Richardia brasiliensis</i> Gomes	ER		x		
<i>Rudgea sessilis</i> (Vell.) Müll.Arg.	SA		x		

Tabela 1 - continuação...

FAMÍLIAS/ Espécies	HC	Habitat		LBR	LMG
		AA	CA		
RUTACEAE					
<i>Dictyoloma vandellianum</i> A. Juss.	AR		x		
<i>Hortia arborea</i> Engl.	AR		x		
SALICACEAE					
<i>Casearia obliqua</i> Spreng.	AR		x		
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	AR		x		
SAPINDACEAE					
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	AR	x	x		
<i>Matayba guianensis</i> Aubl.	AR		x		
<i>Matayba marginata</i> Radlk.	AB	x			
<i>Matayba mollis</i> Radlk.	AR		x		
<i>Paullinia carpopoda</i> Cambess.	LI		x		
<i>Serjania acutidentata</i> Radlk.	LI		x		
<i>Serjania gracilis</i> Radlk.	LI		x		
SCROPHULARIACEAE					
<i>Verbascum virgatum</i> Stokes	SA		x		
SELAGINELLACEAE					
<i>Selaginella flexuosa</i> Spring	ER	x			
<i>Selaginella marginata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Spring	ER	x			
SMILACACEAE					
<i>Smilax campestris</i> Griseb.	LI	x			
<i>Smilax oblongifolia</i> Pohl ex Griseb.	LI	x			
SOLANACEAE					
<i>Brunfelsia brasiliensis</i> (Spreng.) L.B.Sm. & Downs	SA	x			
<i>Dysochroma viridiflora</i> Miers	AB	x	x		
<i>Nicotiana alata</i> Link & Otto	SA	x			
<i>Schwenckia americana</i> Rooyen ex L.	SA	x	x		
<i>Solanum agrarium</i> Sendtn.	SA	x			
<i>Solanum americanum</i> Mill.	SA	x			
<i>Solanum cladotrichum</i> Dunal	AB	x			
<i>Solanum graveolens</i> Bunbury	SA		x	EN	
<i>Solanum leucodendron</i> Sendtn.	AR		x		
<i>Solanum lycocarpum</i> A. St.-Hil.	AB	x			
<i>Solanum paniculatum</i> L.	AB	x			
<i>Solanum refractifolium</i> Schltld.	SA	x			
<i>Solanum sisymbriifolium</i> Lam.	SA		x		
<i>Solanum subumbellatum</i> Vell.	AB	x	x		
<i>Solanum viarum</i> Dunal	SA		x		
STYRACACEAE					
<i>Styrax maninul</i> B.Walln.	AR	x	x		
THEACEAE					
<i>Laplacea fructicosa</i> (Schrad.) Kobuski	AB		x		

Tabela 1 - continuação...

FAMÍLIAS/ Espécies	HC	Habitat		LBR	LMG
		AA	CA		
THELYPTERIDACEAE					
<i>Christella dentata</i> (Forssk.) Brownsey & Jermy	ER		x		
<i>Macrothelypteris torresiana</i> (Gaudich.) Ching	ER		x		
URTICACEAE					
<i>Cecropia glaziovii</i> Snehl.	AR		x		
<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	AR		x		
VELLOZIACEAE					
<i>Barbacenia flava</i> Mart. ex Schult. & Schult.f.	ER	x			
<i>Barbacenia sessiliflora</i> L.B.Sm.	ER	x			
<i>Barbacenia tomentosa</i> Mart.	ER	x			
<i>Vellozia albiflora</i> Pohl.	ER	x			
<i>Vellozia compacta</i> Mart. ex Schult. & Schult.f.	ER	x	x		
<i>Vellozia glabra</i> J.C.Mikan	ER	x		EN	
<i>Vellozia graminea</i> Pohl	ER	x	x		
<i>Vellozia virgata</i> Goethart & Henrard	ER	x			
VERBENACEAE					
<i>Lantana camara</i> L.	AB	x	x		
<i>Lantana fucata</i> Lindl.	AB	x	x		
<i>Lantana lundiana</i> Schauer	AB	x			
<i>Lantana trifolia</i> L.	AB	x			
<i>Lippia glandulosa</i> Schauer	AB	x			
<i>Lippia gracilis</i> Schauer	AB	x			
<i>Lippia hermannioides</i> Cham.	AB	x			
<i>Lippia organoides</i> Kunth	AB	x			
<i>Lippia rubiginosa</i> Schauer**	AB	x	x		
<i>Stachytarpheta cayennensis</i> (Rich.) Vahl	SA	x			
<i>Stachytarpheta</i> cf. <i>trispicata</i> Nees & Mart.	AB	x			
<i>Stachytarpheta glabra</i> Cham.	SA	x	x		
<i>Verbena bonariensis</i> L.	SA		x		
VIOLACEAE					
<i>Anchietea pyrifolia</i> (Mart.) G.Don	LI	x			
VITACEAE					
<i>Cissus albida</i> Cambess.	LI	x			
<i>Cissus verticillata</i> (L.) Nicolson & C.E.Jarvis	LI	x			
VOCHYSIACEAE					
<i>Vochysia emarginata</i> (Vahl) Poir	AR		x		
<i>Vochysia tucanorum</i> Mart.	AR		x		
XYRIDACEAE					
<i>Xyris trachyphylla</i> Mart.	ER		x		

Referências Bibliográficas

- Alves, R.J.V. 2014. A new giant *Vellozia* (Velloziaceae) from Minas Gerais, Brazil with comments on the *V. compacta* complex and conservation. *Phytotaxa*, 172: 13-21.
- Ataíde, E.S.; Castro, P.T.A. & Fernandes, G.W. 2010. Florística e caracterização de uma área de campo ferruginoso no complexo minerário Alegria, Serra de Antônio Pereira, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. *Revista Árvore*, 35: 1265-1275.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2014. Portaria No 443, de 17 de dezembro de 2014. Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, n. 245, 18 dez. 2014. Seção 1. p. 110-121. Disponível em: <http://sintse.tse.jus.br/documentos/2014/Dez/18/portaria-no-443-de-17-de-dezembro-de-2014>. Acesso em 14 jan. 2015.
- Carmo, F.F. & Jacobi, C.M. 2012. As cangas do Quadrilátero Ferrífero. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (orgs.) *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Belo Horizonte: IDM Editora. p. 1-13.
- Carmo, F.F. & Jacobi, C.M. 2013. A vegetação de canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: caracterização e contexto fitogeográfico. *Rodriguésia*, 64 (3): 527-541.
- COPAM 1997. *Lista das espécies ameaçadas de extinção da flora do Estado de Minas Gerais*. Deliberação COPAM 085/97. Disponível em: <http://www.biodiversitas.org.br/florabr/MG-especies-ameacadas.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2010.
- Dutra, V.F. 2005. *Leguminosae Adans. dos campos rupestres do Parque Estadual do Itacolomi, Minas Gerais, Brasil: Florística, preferência por habitat, aspectos reprodutivos e distribuição geográfica*. Dissertação de Mestrado. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 171 p.
- Dutra, V.F.; Messias, M.C.T.B. & Garcia, F.C.P. 2005. Papilionoideae (Leguminosae) dos campos ferruginosos do Parque Estadual do Itacolomi, MG, Brasil: florística e fenologia. *Revista Brasileira de Botânica*, 28 (3): 493-504.
- Dutra, V.F.; Garcia, F.C.P. & Lima, H.C. 2008a. Caesalpinioideae (Leguminosae) nos Campos Rupestres do Parque Estadual do Itacolomi, MG, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 22(2): 547-558.
- Dutra, V.F.; Garcia, F.C.P. & Lima, H.C. 2008b. Mimosoideae (Leguminosae) nos campos rupestres do Parque Estadual do Itacolomi, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia*, 59(3): 573-585.
- Jacobi, C.M.; Carmo, F.F.; Vincent, R.C. & Stehmann, J.R. 2007. Plant communities on ironstone outcrop – a diverse and endangered Brazilian ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 16: 2185-2200.
- Jacobi, C.M.; Carmo, F.F.; Campos, I.C. 2011. Soaring Extinction Threats to Endemic Plants in Brazilian Metal-Rich Regions. *AMBIO*, 40: 540-543.
- Leme, E.M.C. & Paula, C.C. 2009. *Cryptanthus ferrarius*, a new species from the iron-rich soils of Minas Gerais, Brazil, on the way to extinction. *Journal of the Bromeliad Society*, 59: 104-108.
- Messias, M.C.T.B.; Leite, M.G.P.; Meira-Neto, J.A.A. & Kozovits, A.R. 2011. Life-form spectra of quartzite and itabirite rocky outcrop sites, Minas Gerais, Brazil. *Biota Neotropica*, 11: 255-268.

Messias, M.C.T.B.; Leite, M.G.P.; Meira-Neto, J.A.A. & Kozovits, A.R. 2012a. Fitossociologia de campos rupestres quartzíticos e ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Acta Botanica Brasílica*, 26: 230-242.

Messias, M.C.T.B.; Leite, M.G.P.; Meira-Neto, J.A.A.; Kozovits, A.R. & Tavares, R. 2013. Soil-Vegetation Relationship in Quartzitic and Ferruginous Brazilian Rocky Outcrops. *Folia Geobotanica*, 48 (4): 509-521.

Messias, M.C.T.B.; Tonaco, A.C.; Meira-Neto, J.A. & Leite, M.G.P. 2012b. Levantamento florístico de um campo rupestre ferruginoso na Serra de Antônio Pereira, Ouro Preto, Minas Gerais. *MG.Biota*, 5: 4-18.

Oliveira-Filho, A.T. & Fontes, M.A.L. 2000. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate. *Biotropica*, 32: 793-810.

Raunkiaer, C. 1934. *The life forms of plants and statistical geography*. Oxford: Clarendon Press. 632 p.

Roschel, M.B. *Levantamento Florístico Fanerogâmico do Campo Rupestre da Estrada da Torre, Antônio Pereira, Ouro Preto, MG*. 2000. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Santos, L.M. 2010. *Restauração de campos ferruginosos mediante resgate de flora e uso de topsoil no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Tese de Doutorado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Biológicas. 182 p.

Scalon, V.R.; Martins, C. & Cândido, E.S. 2012. Florística dos remanescentes de campo rupestre sobre canga no Campus Morro do Cruzeiro/ UFOP, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. *MG. MG.Biota*, 5: 19-47.

Vincent R.C. & Meguro M.M. 2008. Influence of soil properties on the abundance of plants species in ferruginous rocky soils vegetation, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, 31: 377-388.

HOT, DRY AND ANCIENT: BANDED IRON FORMATIONS OF WESTERN AUSTRALIA

Neil Gibson, David Coates, Stephen van Leeuwen & Colin Yates

Introduction

Banded Iron Formations (BIF) in Western Australia are confined to the two oldest cratons in the region, and these cratons, the Yilgarn in the south and the Pilbara in the north-west, formed the core of the developing continent of Australia (Figure 1; Huston *et al.* 2012). A consensus on the origins of BIF is yet to be reached (Posth *et al.* 2011, Lewy 2012), but two broad groups have been recognised: Algoma BIFs which are generally small in lateral extent and most often associated with volcanics; and Superior BIFs that are, in contrast, vast in extent with little volcanic influence (Gross 1980; Posth *et al.* 2011). The Algoma type best describes the Yilgarn BIFs, which are relatively small and are embedded in Archean greenstone (volcanic) belts that have undergone significant deformation (Figure 2a&b). In contrast, the Superior type best describes the majority of the BIFs in the Pilbara, which occur in the Hamersley Range. These deposits are immense, covering an area of > 60,000 km², with thicknesses of > 100 m, and have macro and micro scale banding patterns which can be traced for 80 – 300 km (Figure 3). They are believed to have formed in large sedimentary basins (Trendall 2002). Smaller occurrences of Algoma type BIFs occur elsewhere in the Pilbara (Figure 3).

While the Hamersley Range BIFs formed somewhat later (2590 – 2450 Ma) than the Yilgarn BIFs (3000 – 2800 Ma) (Trendall 2002; Mole *et al.* 2013), the geochemistry of both are very similar as are patterns of meso- and micro-banding implying a similar geochemical origin. While some authors reject the classification of Western Australian BIFs into Algoma vs Superior types and suggest the differences in thickness and extent have arisen primarily due to the extensive metamorphic reworking that occurred during the genesis of the Yilgarn craton (Gole 1981; Trendall 2002); the classification forms a useful subdivision of BIF types in Western Australia. In the Pilbara we include the Tertiary Channel Iron Deposits that formed in meandering paleodrainage channels and the Detrital Iron Deposits that formed on bajadas as a result of Pliocene deposition from the erosion of nearby Archean / Proterozoic Banded Iron Formations. These occur across the Hamersley Basin and formed ca. 28 – 5 Ma (Huston *et al.* 2012).

Recent work in both Brazil and Australia has shown that some areas of BIFs are major centres of biotic diversity (Jacobi *et al.* 2007; Gibson *et al.* 2010; Gibson *et al.* 2012; Pepper *et al.*

2013) and this can lead to difficult land use decisions as the BIFs are also a major source of iron ore. In this chapter we will review what is known of the biota of these ancient range systems then provide some current statistics on iron ore mining in Western Australia, briefly outline the government processes followed in the development of a mining proposal, and discuss strategies being developed to minimize impacts of mining on conservation values.

Flora

The flora of the Yilgarn and Pilbara BIFs has, until recently, been poorly documented and the conservation status of many taxa remains unknown. However, increased exploration and mining of iron ore in Western Australia has resulted in a dramatic increase in botanical survey on and around the BIF ranges in both regions. Concomitant with this has been an increase in taxonomic effort to delimit and describe new species, and assess conservation status (Gibson *et al.* 2007; Wege *et al.* 2014). For example, a targeted taxonomic study over 2006 and 2007 on BIF ranges of the Yilgarn and other areas of high potential for mining resulted in 95 newly described taxa from 21 families and 33 genera with 78 taxa considered to be of conservation concern (Wege *et al.* 2007). Despite this effort many other taxa in both the Yilgarn and Pilbara BIFs are recognised as distinct and are probably of conservation significance but remain undescribed.

Comparison of Yilgarn and Pilbara patterns

Composition and life forms

The vegetation and flora have been studied in some detail for 24 ranges in the Yilgarn and a recent overview of the patterns found on these ranges has been published (Gibson *et al.* 2012) (Figure 1). The BIF in these ranges tends to occur as highly metamorphosed linear outcrops within wider greenstone belts. The BIF outcrop generally extends for 30 – 50 km in length and up to 5 km wide and rarely rise more than 200 m from the surrounding plain. A flora of some 906 taxa has been recorded from these ranges and they are characterized by high beta diversity and concentrations of BIF endemics on particular ranges. The area between greenstone belts is dominated by woodland or shrublands developed on colluvial and alluvial deposits or on oligotrophic sandplains that have developed *in situ* from Tertiary laterization. Occasionally the granitic basement rock outcrops as domed shaped inselbergs. The climate is best characterised as Mediterranean semi-arid in the southwest grading to sub-tropical semi-arid in the northeast. Rainfall is generally associated with fronts embedded in the westerly airstream during winter. The influence of these westerlies decreases in the north where rainfall from decaying tropical depressions becomes more important.

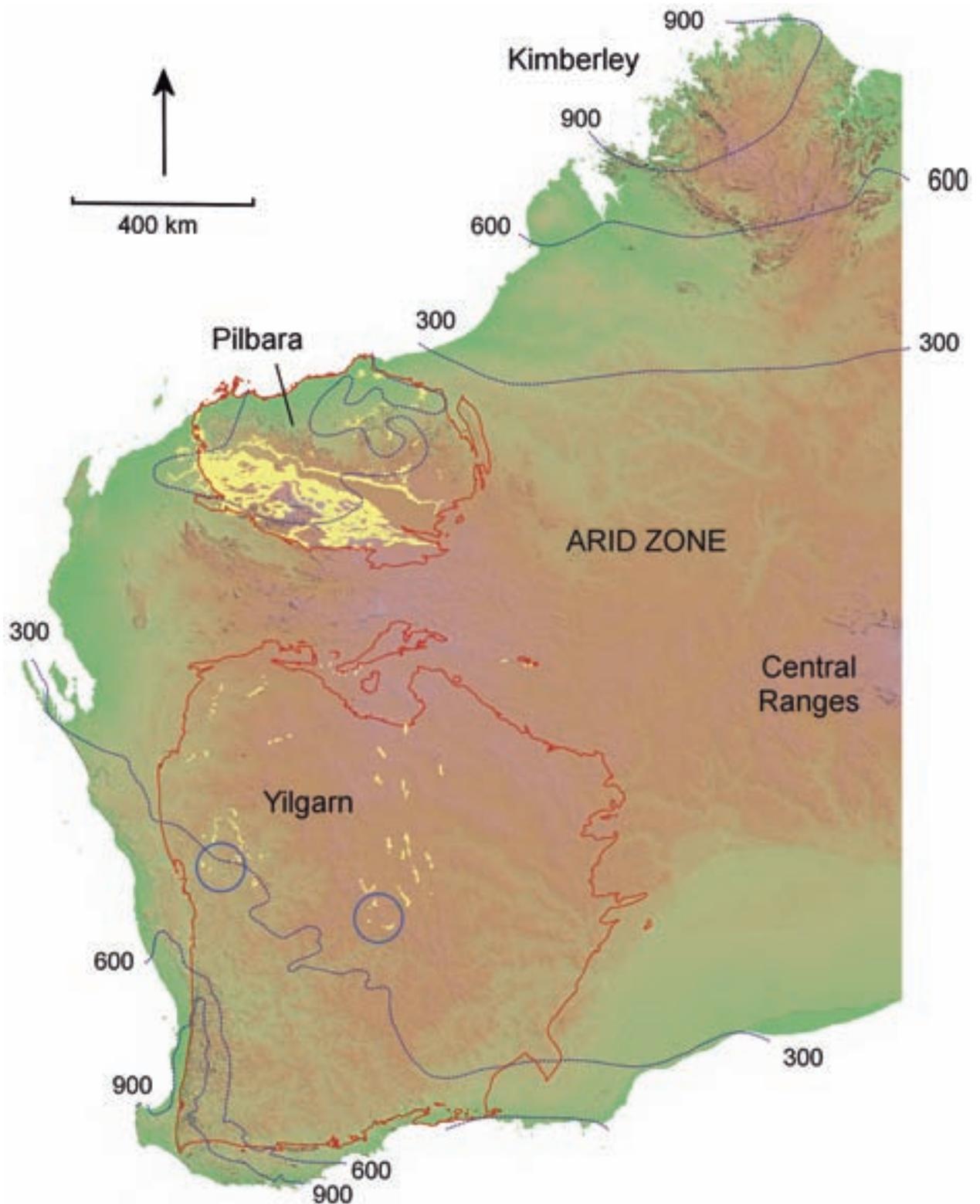


Figure 1 - Location of Yilgarn and Pilbara cratons in Western Australia. Areas of BIF shown in yellow, distribution in the Pilbara based on 1:250000 mapping, in the Yilgarn only ranges sampled are shown due to lack of uniform mapping. The locations of the two hotspots of BIF specialist richness in the Yilgarn are shown by blue circles. Craton boundaries are in red; isohyets at 300 mm intervals in black; the background digital elevation model shows lowlands in green and uplands in browns to purples.



Figure 2 - Yilgarn BIFs. A) Close up of BIF outcrop showing the highly deformed nature of the Yilgarn BIFs at very fine scale. Scale bar 5 cm. B) Jasper Hill BIF was dominated by shrublands on the range and eucalypt woodlands on lower slopes and flats. Vertical orientation of banding indicates landscape scale deformation. C) *Spartothamnella* sp. Helena & Aurora Range (PG. Armstrong 155-109) (Family:Lamiaceae), a BIF specialist currently under taxonomic review. Scale bar 5 mm. Images a: A. Markey; b: S. Dillon; c: K. Thiele.

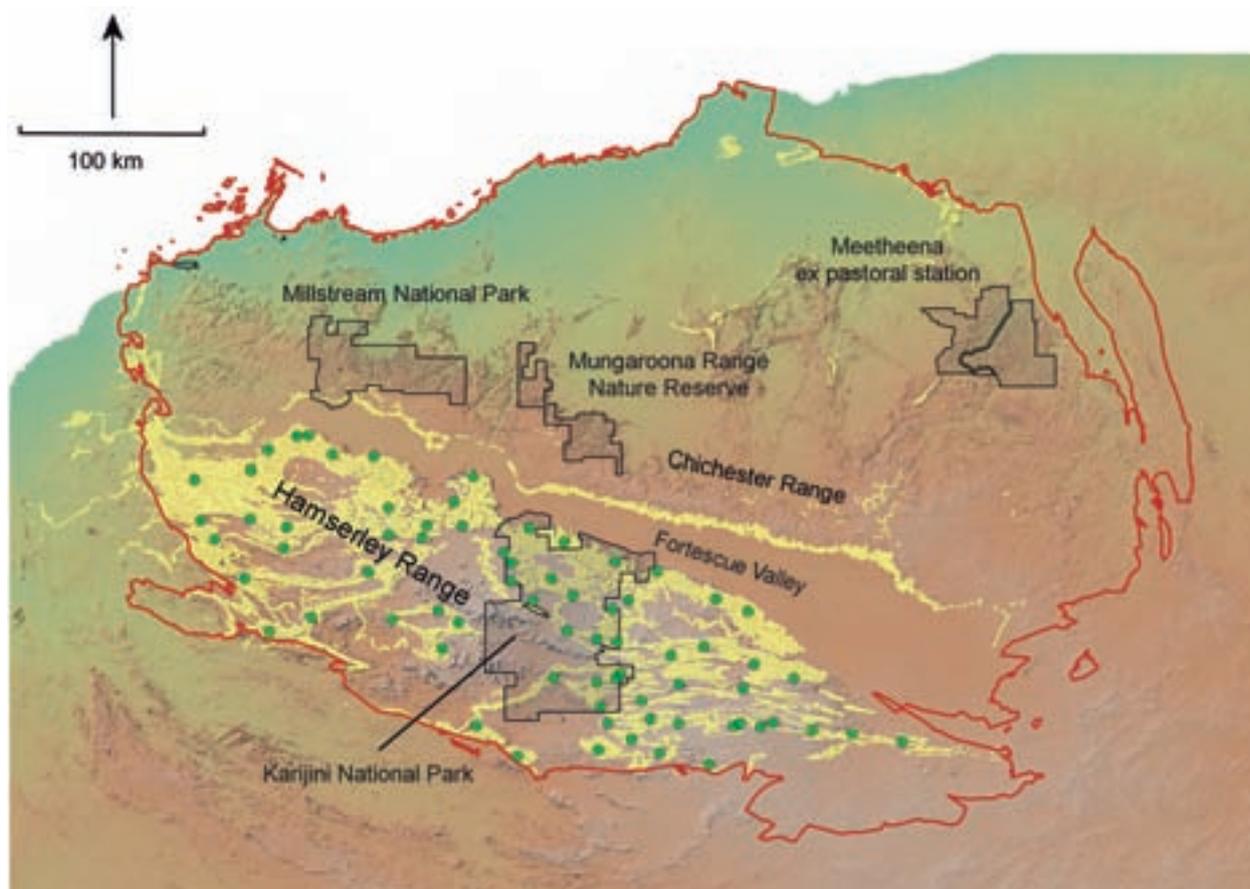


Figure 3 - BIF in Pilbara shown in yellow, location of plots sampled (green dots) and major conservation reserves (outlined). The Hamersley Range is the extensive mountain system south of the Fortescue Valley with the Chichester Range occurs to the north. Simplified craton boundary in red; the background digital elevation model shows lowlands in green and uplands in browns to purples.

Here, we compare the patterns of the flora and vegetation found on the Yilgarn ranges with those found in a survey covering 72 mountain tops in the Hamersley Range in the Pilbara (van Leeuwen & Bromilow 2002). Herbarium records indicate the Hamersley Range has a flora of 1385 taxa, 818 of which occur on areas mapped as BIF. The Hamersley Range is a vast anastomosing expanse of BIF extending east – west for 400 km and north – south for 120 km and occupies most of the southern Pilbara Craton (Figure 3). It is topographically much more diverse than the Yilgarn ranges, with a steep escarpment along the northern boundary and it is separated from the predominately volcanics of the Chichester Range by the Fortescue Valley (Figure 4a). The northern part of the Pilbara Craton is covered by granitic basement rocks and is surrounded to the north and east by sandy deserts, to the west by the sea and to the south by highly metamorphosed rocks. The region experiences a tropical semi-arid climate with an episodic and erratic summer rainfall derived largely from tropical depression and cyclonic systems (van Etten 2009).



Figure 4 - Pilbara BIFs. A) Northern escarpment of Hamersley Range looking south from the Fortescue Valley, note horizontal bedding of the BIF. B) *Callitris glaucophylla* (Family: Cupressiaceae) on fire protected tops of major cliff and gorge systems in the Hamersley Range. C) *Astrotricha hamptonii* (Family: Araliaceae), a BIF specialist on BIF outcrop in Karijini National Park. Images S. van Leeuwen.

In a survey of the Pilbara, a 50 x 50 m plot was established on each of the 72 upland areas close to the summit across the range and sampled on two occasions (Figure 3). In each plot all vascular plants found were recorded, along with a standard site description and a GPS fix. The Yilgarn study was based on sampling ca. 50 plots on each of 24 ranges, with the 20 x 20 m plots being sampled once. Data analysis methods are detailed in Gibson *et al.* (2012) and excluded annual species for some analyses.

Life forms and dominant families

The life forms found on the BIFs of the Pilbara show an increase in dominance of perennials compared to the Yilgarn (Figure 5). Shrubs are the most common life form in both regions while the Pilbara shows decreasing proportion of annual herbs, geophytes and annual grasses with relative increases in the importance of perennial herbs, trees, perennial climbers and parasites and hummock

grasses. This change in life form composition is likely to be driven by the differences in climate between the two regions (predominately winter rainfall in the Yilgarn and summer rainfall in the Pilbara) as similar patterns of dominance are seen on other substrates in the Pilbara. In terms of vegetation structure the most obvious difference is the dominance of perennial *Triodia* hummock grasslands across the Pilbara, which, with few exceptions is uncommon on the BIFs of the Yilgarn.

The overall composition of the flora in terms of its best represented families also shows some differences (Figure 6). The Asteraceae and Fabaceae are the most speciose families in both areas, with similar proportions of the Myrtaceae and Poaceae. The Malvaceae is, however, much more speciose, and the Chenopodiaceae much less speciose, in the Pilbara compared to the Yilgarn. Increase proportions of Goodeniaceae, Amaranthaceae and Solanaceae are also evident in the Pilbara.

Species richness and turnover

In the Yilgarn, some 62% of taxa were found in less than 10% of plots (120 plots), and a similar proportion was found in the Pilbara with 58% of taxa recorded in less than 10% of the plots (7 plots). This indicates rapid turnover in the species composition across both the Yilgarn

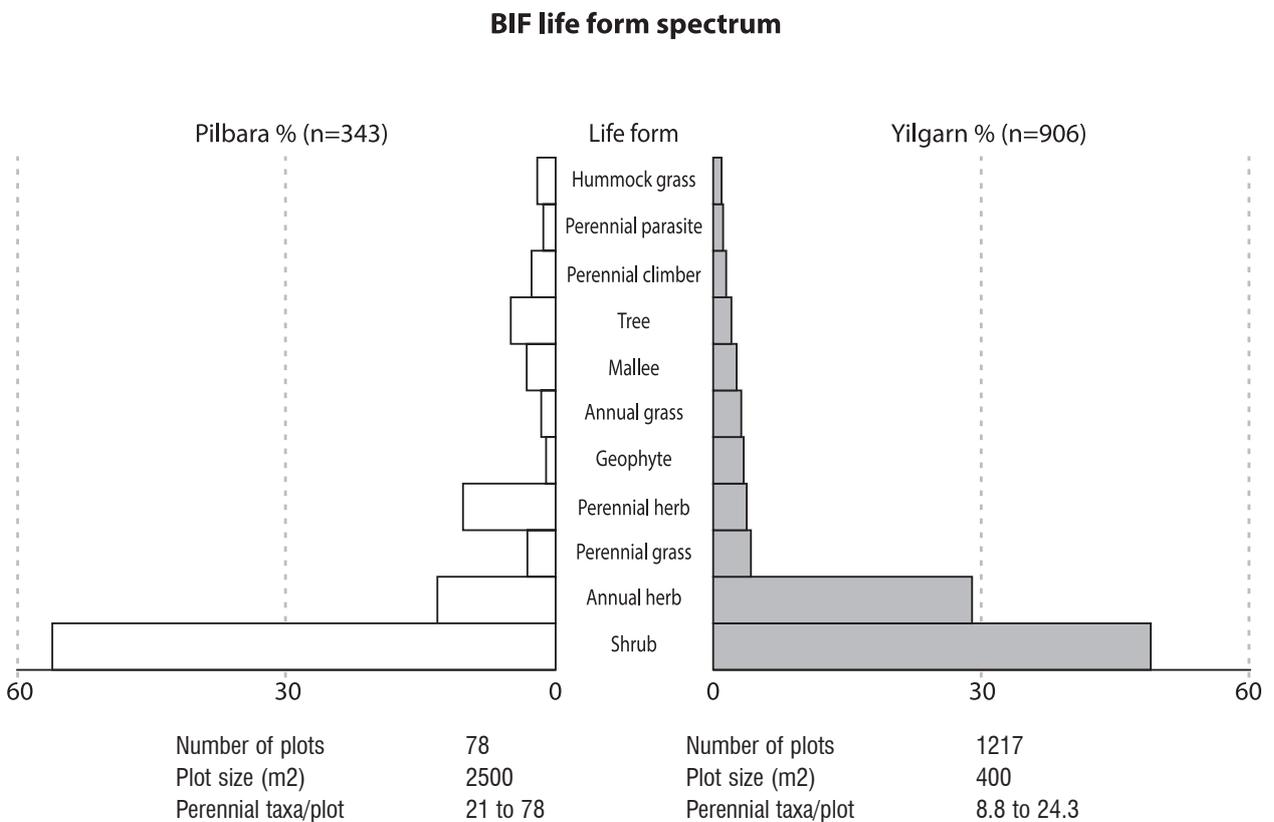


Figure 5 - Life forms of BIF floras occurring at frequencies of > 1% in the Yilgarn and Pilbara. Perennial taxa per plot represents mean per range in the Yilgarn and maximum and minimum per plot in the Pilbara; n is number of taxa recorded.

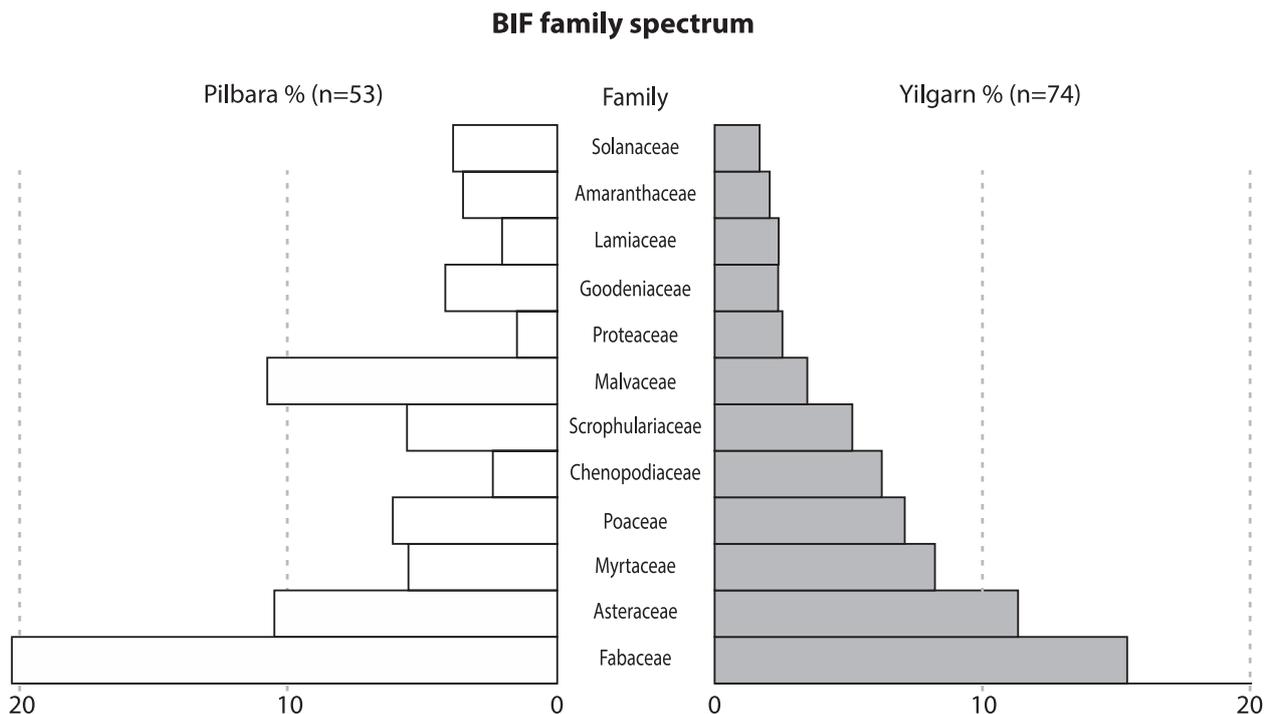


Figure 6 - The percentage of florals of the ten most common families in the Yilgarn and Pilbara BIFs; n is number of families recorded.

and the Pilbara BIFs. Another measure of beta diversity was developed by Baselga (2010, 2012) extending the Sørensen dissimilarity measure to cover multiple sites (β_{Sor}), which can be decomposed into components related to turnover (β_{SIM}) and nestedness (β_{SNE}). Both the Yilgarn and Pilbara show similar patterns of high turnover, with the turnover in the Yilgarn being slightly greater than that recorded for the Pilbara (Table 1). The high level of species turnover in both the Yilgarn and the Pilbara is of the same order as that recorded in the species rich *Banksia* woodlands of the highly diverse southwest of Western Australia (Gibson, unpublished data).

In the Yilgarn, spatial, soil chemistry and climate attributes individually explained between 25 and 49% of variation in perennial richness and, with inclusion of site variables, explained a total of 60% of the variability in species richness (Figure 3a in Gibson *et al.* 2012). In the Pilbara soil chemistry, climate and spatial attributes failed to explain the variation in perennial species richness.

Similarly, models of perennial species composition in the Pilbara had poor explanatory power. Significant vectors were determined by forward selection of climate (isothermality, temperature seasonality), soil chemistry (Ca, Mg) and spatial data (9 vectors) but these explained only 8 % of the total variance. Altitude had no explanatory power in terms of species composition. In contrast, the Yilgarn models for species composition accounted for 34% of the total variance (Gibson *et al.* 2012).

Table 1 - Partitioning of Sørensen multiple site dissimilarity measure (β_{SOR}) into components related to turnover (β_{SIM}) and nestedness (β_{SNE}) following Baselga (2010, 2012). Datasets from the Pilbara (72 plots), combined Yilgarn ranges (1217 plots) and the SW *Banksia* woodlands (134 plots) used a resampling procedure to standardise sample size to 50 plots.

	β_{SOR}	β_{SIM}	β_{SNE}
Yilgarn individual ranges	0.943– 0.956	0.926 – 0.943	0.007 – 0.019
Yilgarn combined ranges	0.961	0.948	0.014
Pilbara	0.944	0.928	0.017
SW <i>Banksia</i> woodlands	0.952	0.939	0.012

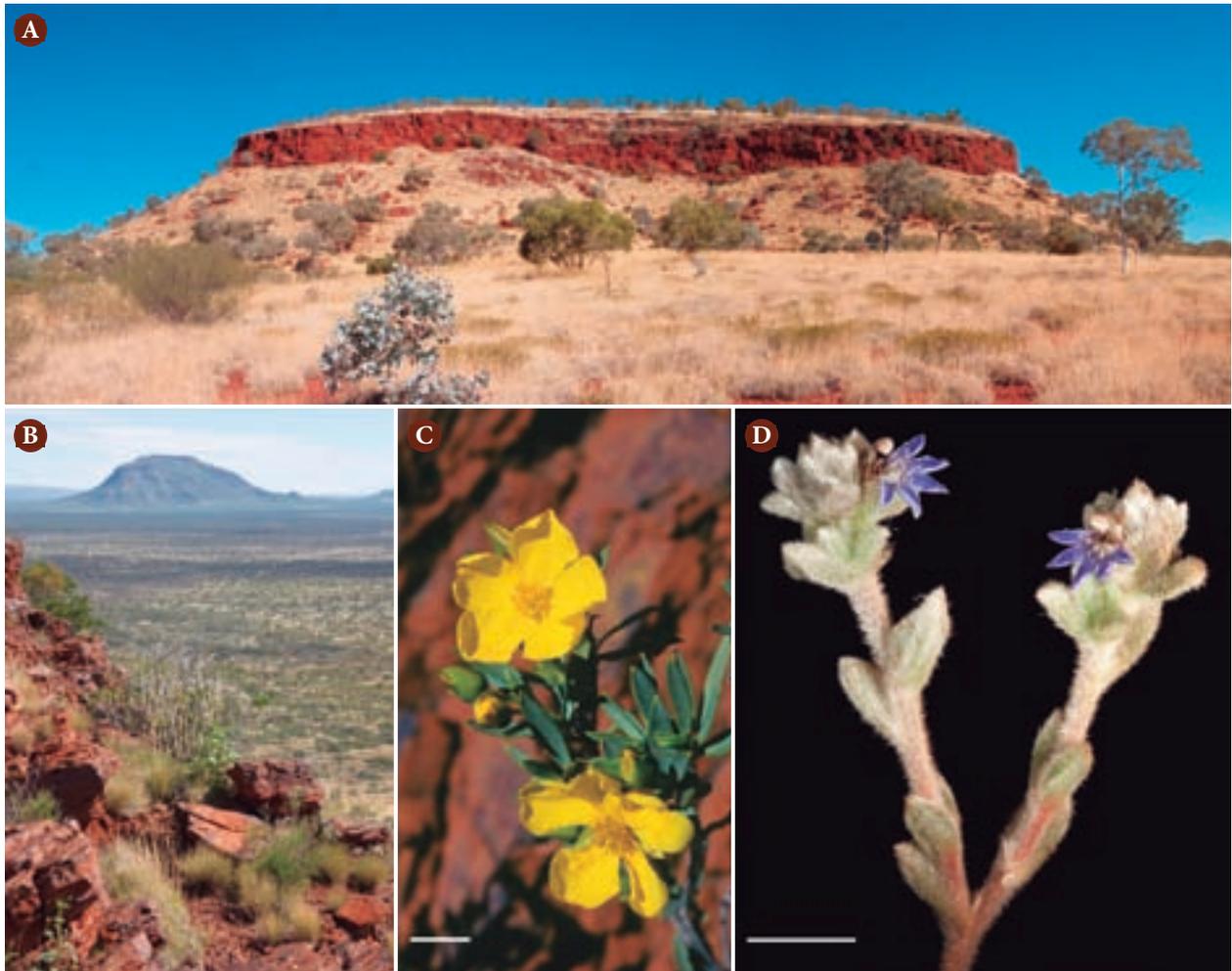


Figure 7 - Pilbara BIFs. A) Flat topped mesa found in Karijini National Park in central Pilbara. B) View toward Mt Bruce, the second highest peak in the Hamersley Range. C) *Hibbertia glaberrima* (Family: Dilleniaceae), a BIF specialist of the Pilbara. Scale bar 10 mm. D) *Scaevola* sp. Mt Nameless (PAS Wurm 1443) (Family: Goodeniaceae), a BIF endemic restricted to a single mountain top. Scale bar 10 mm. Images a,b,c: S. van Leeuwen; d: K. Thiele.

Taxa centred on BIF

Forty-four species are known to be endemic to, or have their centres of distribution centred on the BIF ranges of the Yilgarn (here referred to as BIF specialists) (Figure 2c). When the spatial distribution of these species were plotted on a quarter degree grid (15' x 15') two concentrations of these BIF specialists were found both along the Arid Zone boundary (roughly the 300mm rainfall isohyet in the south west (Byrne *et al.* 2008)) that separates the species rich woodlands and shrublands of the south west from the sparser vegetation of the interior (Figure 1) (Gibson *et al.* 2012).

A list of species from the Pilbara whose distributions are restricted to, or centred on, BIF was similarly compiled from a variety of sources and checked against the distribution information currently held in the Western Australian Herbarium. A total 66 BIF specialists were identified, 20 of which appear to be endemic to BIF (Figures 4c and 7c&d, Appendix 1). The pattern in co-occurrence (number of species per quarter degree grid) of these Pilbara BIF specialists was examined using Western Australian Herbarium records and survey data. As in the Yilgarn, the BIF specialists are concentrated in specific areas, in this case in the central and eastern Hamersley Range (Figure 8).

Partitioning of the variance of the richness of BIF specialist found in the Pilbara dataset (38 of the 60 taxa occurred in 72 plots) showed that altitude was the most important factor (accounting for 41% of the total variance, and 12% of variance not accounted for by other factors), soil chemistry (Mg and Ca) accounts for a further 6% of the variance, and the climate variable (maximum temperature of the warmest month) explain no unique variance (Figure 9). In all, the model accounted for 43% of the variance in BIF specialist richness. This is consistent with the species mapping that showed the concentration of BIF specialist occurring in the highest part of the Hamersley Range (Figure 8). In the Yilgarn spatial location, soil, climate and site variables explained 34% of the variance in specialist richness with no single factor dominating (Figure 4 in Gibson *et al.* 2012).

Fauna

Invertebrates

One of the most remarkable discoveries on Western Australian biodiversity in recent years has been the diverse subterranean invertebrate fauna of troglobites (organisms residing in air filled voids called vugs) and stygobites (organisms residing in water filled voids) predominately comprising hexapods, arachnids, myriapods and crustaceans (Humphreys 1990, 1993; Harvey *et al.* 1993; Humphries 2008; Harrison *et al.* 2014) (Figure 10). Phylogenetic studies on the stygofauna (Leys *et al.* 2003; Cooper *et al.* 2002; Cooper *et al.* 2007) have found that it is characterised by many short range endemics (Harvey 2002) restricted to aquifers formed in unconsolidated

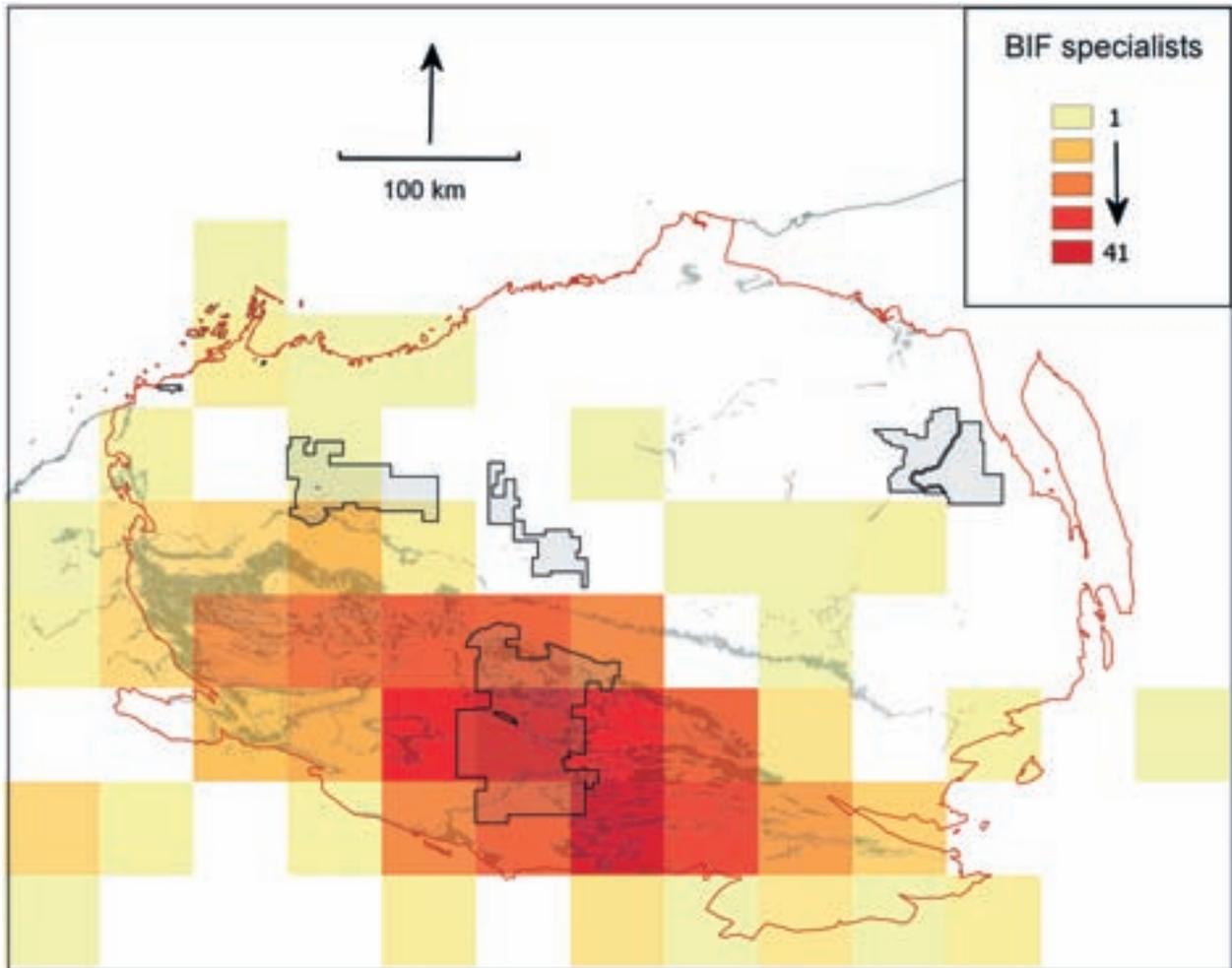


Figure 8 - Number of Pilbara BIF specialists (taxa endemic to, or with distributions centred on, BIF) per quarter degree grid cell. Cells with highest concentration overlap Karijini National Park. Major conservation reserves outlined as in Figure 3; boundary of a simplified Pilbara craton in red; 1:250000 BIF mapping shown in grey.

sedimentary sequences, calcrete, karstic, and fractured rock (Halse *et al.* 2014). While groundwater drawdown and changes in water quality associated with mining and pastoral diversification can have significant impacts on stygofauna (Halse *et al.* 2014), the discussion here concentrates on the biology of the troglofauna in the Pilbara BIFs.

Troglobites are believed to have evolved from a Tertiary rainforest litter fauna following the aridification in the mid-Tertiary (Humphries 2008; Byrne *et al.* 2008), they mainly occur in the vadose zone of calcrete aquifers and in voids in fractured rock in the Pilbara and Yilgarn (Harvey *et al.* 2008; Harrison *et al.* 2014). The taxonomy and distribution of the troglofauna in the Pilbara are still poorly known with 549 taxa being recorded from surveys covering <1% of the region (Halse and Pearson 2014). The state of knowledge of the troglobites in the Yilgarn is even less well developed. It is likely that the recent estimate of a troglofauna approaching 960 taxa for the western half of Australia is conservative (Guzik *et al.* 2010).

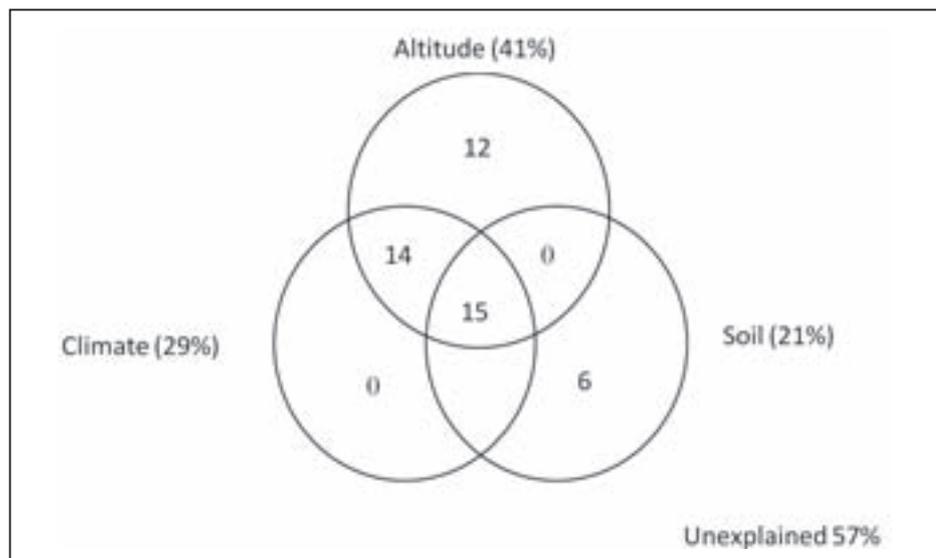


Figure 9 - Partitioning of the variation in perennial richness of the Pilbara BIF specialists using altitude, soil and climate datasets. The enclosing rectangle indicates the total variation in specialist richness, the circles within represent the proportion of the variation attributable to the different datasets. The unique and joint contributions of each dataset are shown in the figure. Total variation explained independently by each datasets is shown in brackets.

Early collections in Western Australia came from limestone cave systems (Harvey 1988) but, in mid 2007 a BIF troglofauna came to public notice with the discovery of troglobites in the Robe River valley in the Pilbara. Several Channel Iron Deposit mesas, some of which had been mined and others proposed for mining, were found to harbour a diverse troglobitic fauna in numerous internal vugs and fissures (Harvey *et al.* 2008). Early-mid Miocene erosion of Archean / Proterozoic BIFs had produced Channel Iron Deposits from which these mesas were formed by later erosion. Molecular analysis of the schizomids (pseudo-scorpions) revealed a series of short range endemic taxa each specific to an individual mesa (Harvey *et al.* 2008). Initially, a \$12b mining proposal was deemed not environmentally acceptable based on anticipated impacts to this troglobiotic fauna, but mining later proceeded following further definition of the schizomid's habitat and a redesign of the mine plan (SMH 2007; Majer 2009; Piper 2009).

Much less work has been done on troglobites compared with stygofauna over the last two decades, largely as result of the much more difficult sampling methodology needed (i.e. baiting of bore holes for some weeks and / or scrapping (Halse & Pearson 2014)). Nonetheless, a recent molecular study on schizomids across the Yilgarn and Pilbara has shown strong geographic structuring in subterranean taxa consistent with short range endemism, as has been found in the stygofauna (Harrison *et al.* 2014).

Recent regional survey work on other invertebrate groups in the Pilbara has shown compositional patterns consistent with major geological surfaces for the ground dwelling spiders (Durrant *et al.* 2010) and beetles (Guthrie *et al.* 2010) with distinctive faunas occurring on the BIFs. Much of these faunas are yet to be described and no detailed genetic studies on phylogenetic patterns are yet available.

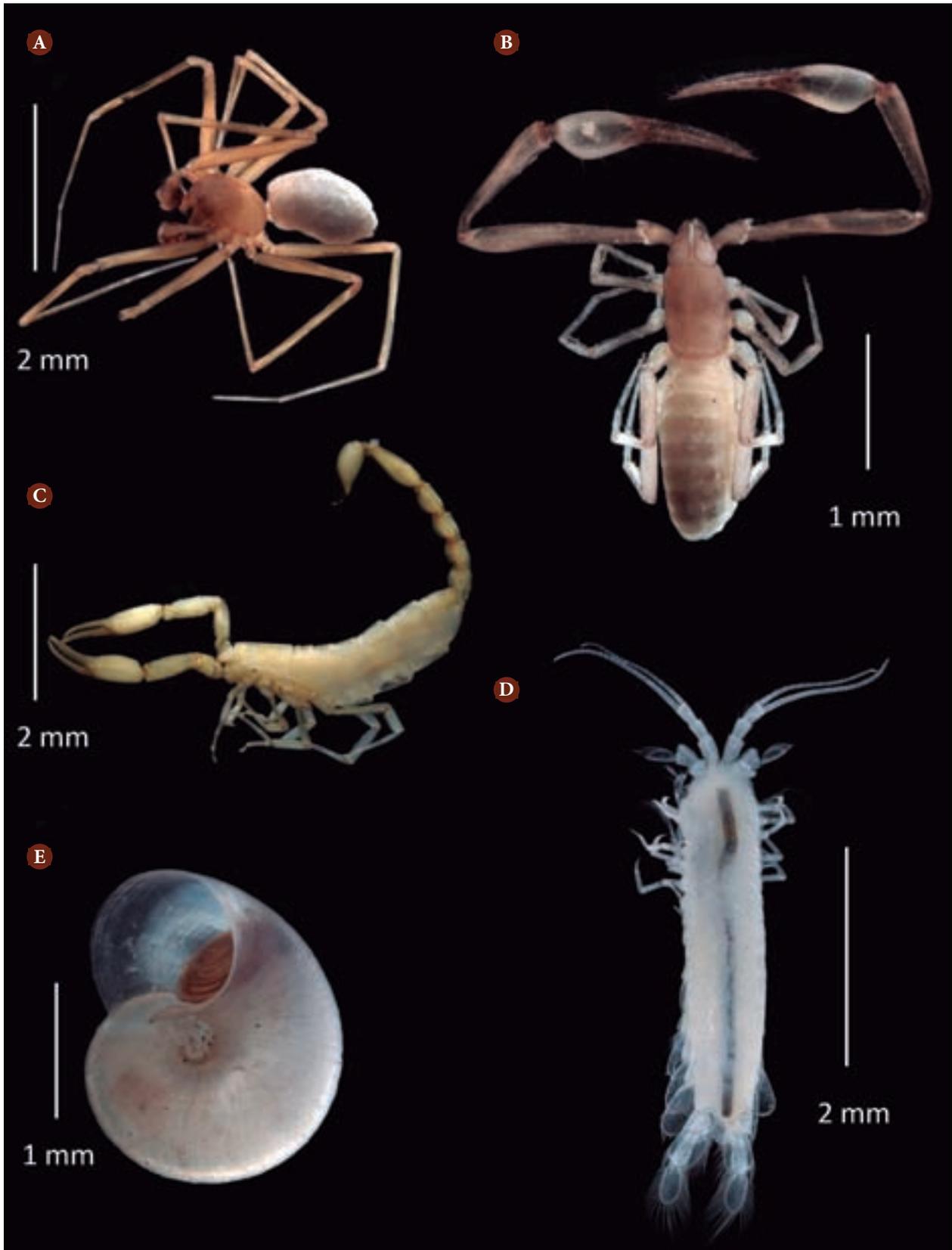


Figure 10 - Examples of Pilbara invertebrate troglobites (A, B, C) which live in air filled voids and stygobites (D, E) which live in water filled voids. A) Spider (Linyphiidae); B) Pseudo-scorpion (*Indohya* sp.); C) Scorpion (undescribed genus); D) Crustacean (*Mangkurtu kutjarra*); E) Snail (Hydrobiidae). Images J. McRae, Bennelongia Environmental Consultants.

Vertebrates

While no recent regional studies have been undertaken on vertebrates occurring on the BIFs of the Yilgarn considerable work has been undertaken in the Pilbara (McKenzie *et al.* 2009). The Pilbara is known to be an area of high biotic diversity and endemism for reptiles (How & Cowan 2006; Powney *et al.* 2010; Doughty *et al.* 2011) with many saxicole (rock-loving) endemics. Patterns in species composition for both mammals and reptiles are strongly linked to surface geology but compositional patterns showed no uniquely BIF assemblages (Gibson & McKenzie 2009; Doughty *et al.* 2011). This belies the finer scale patterns shown by a number of reptile species and species complexes in the region (Pepper *et al.* 2013; Maryan *et al.* 2014).

The Pilbara has the highest species richness of geckoes of any area in Australia (Powney *et al.* 2010) and the taxonomy of this group is yet to be fully resolved. In a phylogenetic study of the gecko *Lucasium stenodactylum*, Pepper *et al.* (2008) found five major clades whose distribution closely matched surface geology. In an expanded study that included a further six co-distributed species a strong north – south genetic differentiation across the craton boundary was confirmed as a major subdivision, and further subdivision within the Pilbara between the Hamersley Basin (primarily BIFs of the Hamersley Range) and volcanics and granites of the north, reflecting the compositional patterns reported for the ground dwelling spiders and beetles (Durrant *et al.* 2010; Guthrie *et al.* 2010).

Genetic and morphological studies have also identified a southern lineage in the large varanid lizard of the Pilbara, which is now considered endemic to the BIFs (Maryan *et al.* 2014). Pepper *et al.* (2013) undertook a similar analysis into the geckos of the widespread *Heteronotia spelea* complex that occurs in the Pilbara and central Australian ranges. This resolved three taxa, one confined to the central ranges, a localised endemic in the northern Pilbara and a third more widespread taxon in the Pilbara. This third taxon does, however, have further phylogenetic structure reflecting a south eastern (BIF) lineage and other lineages in the south west and north east.

While reptile fauna of the Pilbara shows classic examples of vicariance and ecological diversification across an ancient and heterogeneous landscape (Pepper *et al.* 2008, 2013), this may not be the case for all vertebrate groups (Lanier *et al.* 2013).

Connectivity and Dispersal

Banded Iron Formations are topographical features that in many cases can behave as terrestrial islands. Although less conspicuous topographic habitats than some terrestrial islands BIF typically vary considerably in size and degree of spatial disjunction. This makes them ideal model systems for investigating the importance of connectivity or isolation, and evolutionary processes, such as gene flow, in shaping population genetic structure, phylogenetic divergence and speciation.

Work to date has concentrated on a small number of BIF endemics that are currently or potentially being impacted by mining operations. The few studies available have highlighted the limited but variable levels of connectivity and gene flow, and persistence of the flora and fauna related to specific habitats. A genetic study of four leafless *Tetratheca* taxa (Family: Elaeocarpaceae) that are largely restricted on massive BIF outcrops on four adjacent ranges found deep phylogenetic divisions between taxa. It seems that this life form has evolved independently on at least three separate occasions, and that restriction to small disjunct BIF outcrops within the same geographic area is a result of *in situ* speciation following long isolation (Butcher *et al.* 2007). A parallel demographic study showed three taxa to be restricted to a very specific habitat type, principally deep rock fissures capable of holding enough moisture to ensure survival through long dry summer where surface rock temperature are likely to exceed 50° C. Successful establishment of these taxa appears dependent on the occurrence of both good winter and summer rainfall, an infrequent sequence of events in this environment. As a consequence the viability of extant populations is largely dependent on maintenance of adult reproductive plants (Yates *et al.* 2011).

Other more detailed genetic studies on BIF endemic plant species have shown significant genetic structure over relatively small distances, with historically low gene flow in the case of *Tetratheca paynteri* subsp. *paynteri* (Butcher *et al.* 2009) and more extensive gene flow in *Acacia woodmaniorum* (Family: Fabaceae) (Millar *et al.* 2013; 2014). In both cases small isolated populations were found to have significant conservation value, while different pollinators and pollinator syndromes are likely to be key factors in the patterns of connectivity and gene flow between populations.

In *Tetratheca paynteri* subsp. *paynteri*, a BIF endemic with a total distribution of ca. 4 ha, it was found that gaps between 80 – 120 m constituted effective barriers to gene flow. Extremely restricted pollen dispersal largely within 3 m, and predominantly near neighbour mating, maintained the strong genetic structuring of populations over these distances (Butcher *et al.* 2009). Native bees of four *Lasioglossum* species have been observed buzz-pollinating *T. paynterae* and three of these species carried virtually only *Tetratheca* pollen (Butcher *et al.* 2009). It appears that these pollinators limit their movement to local clusters of plants and that they are largely specific to *Tetratheca paynteri* subsp. *paynteri* on these ironstone cliffs. Historically low gene flow and long term persistence have been reported previously from plants restricted to inselbergs in Australia (Yates *et al.* 2007; Byrne & Hopper 2008; Tapper *et al.* 2014a, Tapper *et al.* 2014b) and elsewhere (Sarhou *et al.* 2001; Pinheiro *et al.* 2014), indicating the ancient and highly isolated nature of these systems.

In contrast, analysis in *Acacia woodmaniorum* shows genetic connectivity was maintained by pollen mediated gene flow over extensive dispersal distances through a range of generalist insect pollinators, including ants, moths, wasps, beetles and bees (Millar *et al.* 2014). Despite the limited distribution of < 40 km² and gene flow, significant genetic structure was detected in *A. woodmaniorum*. While there was sufficient gene flow to maintain ‘adaptive connectivity’ there was significant differentiation across different ridges and between different populations on the same ridge (Millar *et al.* 2013). A quadratic relationship between genetic differentiation and

geographic distance suggested limitation to gene flow occurred at around 740 m (Millar *et al.* 2013). Significant gene flow and high levels of outcrossing are important features that may be critical for the persistence and conservation of this species in a series of large and small disjunct populations over a narrow geographic range. As long as this population system remains intact, this species is likely to persist, even as small populations, over significant historical timeframes (Millar *et al.* 2013).

A number of phylogenetic and phylogeographic studies have been carried out on both invertebrates and vertebrates endemic to Western Australian BIF and these show deep and ancient phylogenetic splits among population groups within currently defined species (see next section). However, only one study to date has combined phylogeographic investigations with more fine scale genetic structure within a species. The millipede *Atelomastix bamfordii* is restricted to the same five adjacent BIF ranges (Nistelberger *et al.* 2014) where the different species of the leafless *Tetratheca* occur (Butcher *et al.* 2007). A genetic study of the millipede across these ranges revealed strong mitochondrial DNA based phylogeographic structuring and strong differentiation using nuclear microsatellites with a lack of correlation between genetic divergence and geographic distance. This suggests there has been little or no contact between the populations following their separation, emphasising the role of genetic drift in driving population differentiation (Nistelberger *et al.* 2014).

Pattern and evolutionary processes

The floristic patterning seen on the BIFs of the Pilbara and Yilgarn are surprising similar despite starkly contrasting climates and landscapes sharing few taxa. Both are dominated by arid zone floras with broadly similar dominant families (major differences being the Malvaceae are more common in the Pilbara and Chenopodiaceae are more common in the Yilgarn), and with perennial life forms become more dominant in the Pilbara.

Analysis of beta diversity in perennial plant species suggested that turnover, although high, is lower in the Pilbara than in the Yilgarn. This may just be related to the more restricted sampling of the summit areas in the Pilbara rather than covering the whole catenary sequence of the ranges as was done in the Yilgarn. Similarly the lack of success in modelling species richness and composition in the Pilbara may be related to sampling, but may also reflect poorer climate estimates (due to lack of climate stations) and the more contiguous nature of the BIF in the Pilbara.

Patterns in richness of BIF plant specialists in the Pilbara was largely driven by altitude, but this factor was not identified as being important on the more subdued ranges in the Yilgarn. The much large area of the BIF in the Pilbara may be the reason for the higher number of BIF specialist identified (66 cf. 44 in the Yilgarn) although the proportion of BIF endemics is lower (30.3% cf. 58.3%). The high species turnover recorded in the species rich southwest, on the BIF ranges of the Yilgarn, and now in the Pilbara, must in part reflect the age of these landscapes.

Phylogenetic studies on the fauna and the flora likewise suggest that the pattern of diversity seen on the BIFs, and across the Australian arid zone more generally, is intimately linked with the long evolutionary time periods over which this landscape has evolved and climatic vicissitudes it has undergone (Byrne *et al.* 2008). The aridification of Australia began in the mid Miocene (15 Ma) when a warm rainforest environment began to dry, with a period of increased aridity and regional instability with massive erosion across the landscape in the late Miocene (10-6 Ma). Warmer mesic conditions returned at the beginning of the Pliocene (6-2.5 Ma) followed by progressive expansion of the arid zone and formation of the stony deserts ca. 4-2 Ma (Fujioka *et al.* 2005). Climatic oscillations consistent with glacial cycles began during the Pliocene but were accentuated from the mid Pleistocene (~1Ma) with the mobile dune systems forming ca. 1 Ma when the climatic cycles increased in amplitude from 40 ky to 100 ky (Byrne *et al.* 2008; Fujioka *et al.* 2009). The BIFs of the Yilgarn, Pilbara and the ranges of the Kimberley and central Australia are hypothesised to have provided mesic refugia for the biota in face of increasing aridity (Byrne *et al.* 2008), and the formation of the vast sand dune systems of inland Australia would have increased the isolation of these areas. These BIFs would have acted as terrestrial islands with long term isolation driving phylogenetic divergence among even geographically close BIF and also within BIF structures through subterranean islands (see Harrison *et al.* 2014).

Little phylogenetic information is available on BIF endemic plant species or species associated closely with BIF. Morphological and phylogenetic studies on highly localised *Tetralochea* taxa suggests diversification occurred with aridification in the Miocene (6-7 Ma), with independent evolution of separate lineages among the leafless BIF endemics on adjacent ranges (Crayn *et al.* 2006, Butcher *et al.* 2007). While not a BIF specialist, phylogenetic and paleodistribution reconstruction studies on taxa in the *Callitris columellaris* complex indicates that multiple distinct lineages have evolved in regional uplands, such as the Yilgarn and the Pilbara BIFs. This *Callitris* species complex is thought to have persisted in long-term refugia probably across multiple climatic cycles during the late Pleistocene (Sakaguchi *et al.* 2014). Similar deep phylogenetic patterns are likely to be found in a number of taxa and genera that show major range disjunctions, for example between the Pilbara and the Central Ranges (*Hibbertia glaberrima*, Dilleniaceae; *Eucalyptus lucens* (Myrtaceae), the Pilbara and southern Australia (*Eucalyptus ewartiana*) and the Pilbara and northern and / or eastern Australia (*Astrotricha*, Araliaceae; *Pleurocarpaea*, Asteraceae; *Maytenus Celastraceae*).

More phylogenetic data is available for the fauna and it also points to an ongoing evolution dating from the Miocene aridification with overlying temporal patterns relating to isolation and persistence. Phylogenetic analysis of troglobitic schizomids shows multiple subterranean clades nested within surface lineages, implying multiple invasions of subterranean voids by surface ancestors and persistence in, and reliance on, multiple localised refugia through several glacial cycles (Harrison *et al.* 2014). Similar patterns have been reported for stygofauna, where radiation is thought to have occurred between 3-9 Ma for diving beetles (Leys *et al.* 2008) and between 4.1-13.4 Ma for amphipods (Cooper *et al.* 2007). More recent patterns of divergence are evident for

the millipede *Atelomastix bamfordii* with persistence and isolation on BIF resulting in significant genetic divergence among populations estimated at around 0.7 – 1.1 Ma in the Pleistocene (Nistelberger *et al.* 2014). Again these findings are consistent with known increases in aridity at that time (Byrne *et al.* 2008).

More complex patterns are apparent in the gecko *Lucasium stenodactylum*. The initial split between Pilbara and non Pilbara lineages has been dated at 16-27 Ma, in the early Miocene. Present day Pilbara lineages are younger (3-4.5 Ma) and have specific substrate preferences. Intra-clade ages are estimated at 0.8-2.4 Ma consistent with the increased aridity leading to the formation of the mobile sand sheets and show isolation by distance at scales of < 90 km (Pepper *et al.* 2008). Other geckos also show a genetic imprint of the Tertiary climatic change with divergent lineages also closely correlated with geological and topographic features at both a large geographic scale and also at fine within BIF scale (Pepper *et al.* 2013). The gecko *Heteronotia* shows Kimberley versus Pilbara – central Australian ranges split at about 4.2 Ma, followed by a split between central ranges and Pilbara at 2.9 Ma (and perhaps older) predating the formation of the sand dune system (Pepper *et al.* 2011). Overall the complex evolutionary patterns and very high diversity in the Pilbara gecko taxa suggest that the Pilbara BIF and associated uplands have been important places for persistence of these groups during the Pliocene and Pleistocene (Byrne *et al.*, 2008; Pepper *et al.*, 2008, 2011; Oliver and Bauer 2011), with evolutionary divergence also driven by vicariant processes in association with regional habitat differences (Pepper *et al.* 2013).

Other reptile groups, such as skinks (Rabosky *et al.*, 2007), agamid lizards (Hugall *et al.*, 2008) and typhlopoid snakes (Marin *et al.* 2013), show similar patterns to the geckos with phylogenetic studies finding that diversification concurrent with the expansion of open and arid environments since the Miocene, with multiple invasions (< 10 Ma) of the arid zone followed by recent radiation (< 5 Ma). In all these cases, rocky uplands such as the Pilbara BIF functioned as terrestrial islands with climatic stability enabling persistence and greatly facilitating *in situ* diversification and divergence among lineages even over relatively short geographic distances.

These patterns of deep phylogenetic divisions, fragmented distributions, high beta diversity and historic low gene flow identified in the Pilbara and Yilgarn, can also be found in the highly diverse flora of south western Australia, and are likely to have resulted from the ancient nature of these landscapes and their evolution through millions of years of climatic change not experienced by the biota of the youthful landscapes of the northern hemisphere (Coates 2000; Hopper 2009). The genetic imprint of historically climatic cycles is apparent in many south western taxa (Byrne 2008), including both common and rare endemics of the granite outcrops that would have acted as localised Pleistocene refugia similar to the BIFs (Byrne and Hopper 2008; Tapper *et al.* 2014a, 2014b). Evolution of the BIF flora and fauna, while constrained by the geology, was largely a result of both long term environmental stress and stochastic processes that were not confined to these systems (Yates *et al.* 2007; Hopper 2009).

Mining

The oldest mine in Australia, which predates European settlement, occurs on BIF in the Yilgarn. In the Weld Range at Wilgie Mia, red and yellow ochre was mined in large quantities by the Aboriginal people for perhaps several millennia. Davidson (1952) believed that most of the red ochre used in the western deserts came from this mine, which was surprisingly large (50–100 feet wide x 65 feet deep) and had been laboriously excavated with very simple technology, with further tunnelling following the ochre seams. This pigment was held in very high regard for both ceremonial purposes and for use in rock art sites. Ellis (1982) considered that the deposit formed from the weathering of a large jaspilite lens. The site was mined by Europeans between 1945 and 1978 and is today protected in a gazetted reserve and represented on the National Heritage List.

In more recent times, world demand for iron ore has undergone a massive increase due to demand from China, with Brazil, China and Australia being the major producers. Australian production of iron ore is centred on large open cut BIF mines in the Pilbara. In 2012, Australia produced 520 Mt of ore, of which 94% came from Western Australia, with most of this coming from the Pilbara (92%) (Armitage 2013; Department of Mines & Petroleum 2013). The majority of the ore produced to date has been haematite, while exploitation of the massive magnetite resources has only just commenced due to the much higher processing costs. Mining in the Pilbara and Yilgarn is very different in terms of scale, with the deposits in the Yilgarn being small and scattered (to 25 Mt) compared to the very large mines (to 1.8 Gt) in the Pilbara (Government of Western Australia 2007, Morris & Keenshaw 2011). Pilbara operations have much larger economies of scale compared to the Yilgarn (Table 2, Figure 11).

Table 2 - Mining statistics for iron ore production in 2012 in Western Australia. Most of the iron ore production is centred on large open cut mines in the Pilbara. Employment figures related to direct employment by the mining companies (Department of Mines & Petroleum 2013).

	Mines	Production (Mt)	Production (%)	\$AU (million)	Employment
Kimberley	3	5.7	1.2	607	917
Yilgarn	8	17.3	3.6	1,851	2,366
Pilbara	28	453.2	95.2	48,563	26,730
Total	39	476.2		51,021	30,013

In Australia, mineral rights are owned by the Crown and almost all of the BIF geology in the Pilbara and the Yilgarn is under exploration tenements issued by the Western Australian Department of Mines and Petroleum. When a company has proven the value of a resource and wishes to apply for a mining lease, a Mining Proposal is submitted to the Department of Mines and Petroleum who evaluate the requirement for referral for environmental assessment based on

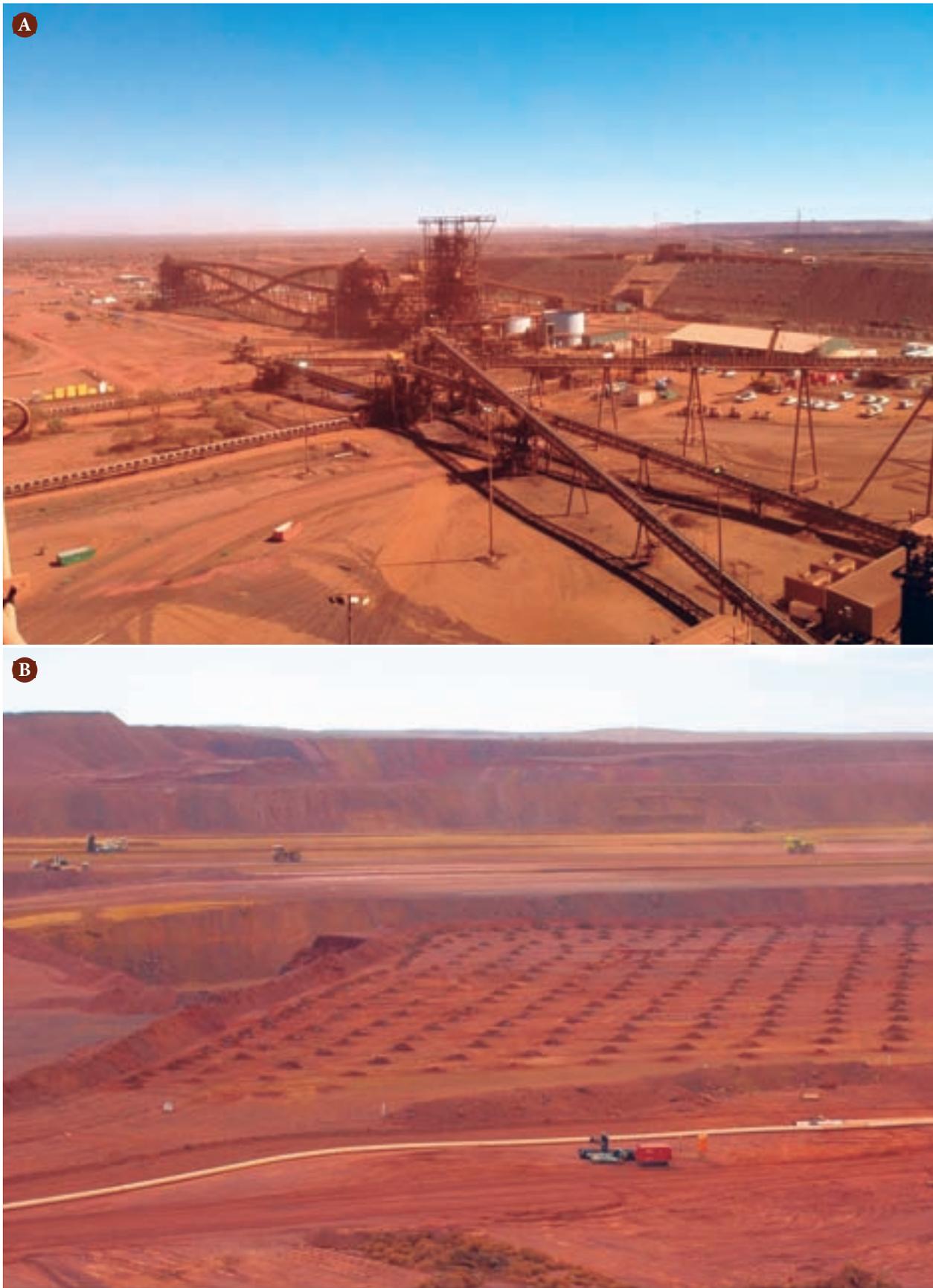


Figure 11 - Pilbara iron ore mining. A) Mining infrastructure Fortescue Metals Cloudbreak Mine. B) Pit at Fortescue Metals Cloudbreak Mine. Image S. Grein, Fortescue Metals.

a significance test on the nature, scale and duration of the impact, significance of the environment, availability of alternative processes for managing impacts, and degree of public interest. Proposals that are considered to be environmentally significant under these guidelines are referred to the Environmental Protection Authority (EPA) for consideration for assessment of impacts. The Office of the Environmental Protection Authority then set a level of assessment for the project based on the significance of the potential impacts. For large development proposals the level of assessment is normally set as a comprehensive evaluation known as a Public Environmental Review (PER). In consultation with the company, a scope document is developed for an environmental impact assessment that is undertaken under Part IV of the *Environmental Protection Act 1986* following a set of published procedures (Environmental Impact Assessment (Part IV Division 1 and 2) Administrative Procedures 2012). These procedures include a requirement to consult with stakeholders, provide sufficient information to allow informed comment to be made, evaluate options and alternatives, identify environmental factors likely to be impacted, identify best practical methods to avoid, where possible, and otherwise minimise, rectify, reduce, monitor and manage impacts of the proposal.

When the PER is finalised it is open for public comment for a period (generally 4 weeks) during which time the general public and other government agencies can make submissions to the EPA. The EPA is an independent authority appointed by the Government to provide advice to Government on a range of environmental issues. At the conclusion of the public comment period, the EPA prepares a public report and submits recommendations to the Minister for Environment. This report and the recommendations are then open to public appeal, the outcome of which is determined by the Minister for Environment. The Minister for Environment will then consider the EPA's report and any appeals, and determine, in consultation with other Ministers, whether the proposal should be allowed to proceed and if so under what conditions.

The conditions imposed on a development usually include addressing matters of: proposal implementation; time limit for proposal implementation; compliance reporting; and public availability of post-assessment information plus any environmental management commitments made in the Mining Proposal. Proposal-specific implementation conditions may also be applied. Generally proposal-specific conditions are outcome-based and may include provisions for 'offsets' to address any significant residual effects in order to achieve 'no net loss' of biodiversity (EPA 2013). Offset conditions are only imposed after higher order opportunities in the mitigation hierarchy (prevent / avoid; minimise / reduce; rescue / relocate; repair / restore) are considered not to satisfactorily reduce residual environmental impacts in line with the EPA's offset policy.

Small scale projects that are not likely to have a significant impact on the environment are not assessed by the EPA, but may be assessed through the provisions of the *Mining Act 1978* and Part V Division 2 of the *Environmental Protection Act 1986* that relates to the Clearing of Native Vegetation. The Federal Government's environmental agency may also become involved if the proposal is likely to impact on a Matter of National Environmental Significance (MNES) as defined by the national *Environment Protection and Biodiversity Conservation Act 1999*.

While the companies spend considerable resources in developing a detailed understanding of the impacts of their proposed developments on the flora and fauna of the areas in which they are working, the understanding of the broader scale patterns in the biota is often lacking due to generally inadequate biological information in these areas, making it difficult to set the new knowledge into a regional context. In order to provide this regional context the Western Australian and Federal governments, in collaboration with some major mining companies, have funded a number of regional surveys, either across a range of different plant and animal groups (McKenzie *et al.* 2009) or concentrating on a specific biotic group (Gibson *et al.* 2012). In the absence of this regional level information, there have been cases where assessment of development proposals has been delayed while further biological studies have been undertaken (SMH 2007; Majer 2009; Piper 2009).

Conservation issues

Recent reviews have highlighted the changes in the Pilbara biota due to pastoral use, changes in aboriginal burning practices and mining over the last 150 years (Woinarski *et al.* 2000; McKenzie *et al.* 2009). During this period fundamental alterations have occurred in vegetation patterns particularly on the richer alluvial soils and in the fauna assemblages, largely as a result of overgrazing, too frequent fires and the introduction of feral animals and plants. Some 15% of the original mammal fauna is now extinct, and serious exotic weeds, such as buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) continue to spread and pose significant threat to the native biota. While pastoralism in the Yilgarn has not been as widespread in areas where BIF is prevalent, the collapse of the mammal fauna is common across the arid zone (McKenzie *et al.* 2007).

Although the mining industry has a small footprint compared to industries such as pastoralism, the complexity of the flora and fauna of this ancient landscape with short range endemic and cryptic taxa, and taxa with significant genetic differentiation over small geographic distances, coupled with the high beta diversity of the flora as a whole, inevitably results in difficult land use decisions. Areas of unusual geology can, not surprisingly, harbour unusual biotas. The deep phylogenetic divisions seen within both fauna and flora across short geographic distances suggest that species may not be the most appropriate unit of biodiversity to use when assessing potential impacts from mining proposals. Clusters of populations that represent discrete evolutionary lineages, and even genetically divergent populations, may be more appropriate units for conservation (*cf* Moritz 1994; Coates, 2000).

In the Yilgarn, attempts have been made to gain a strategic understanding of the areas of highest conservation value (Government of Western Australia 2007) to inform consideration of reservation of high value areas. The EPA (2013) has raised serious concerns about the cumulative impacts of developments on the Yilgarn BIFs in the context of achieving a balance between conservation and development and noted that none of the BIF ranges are protected in secure conservation reserve ('A' class or National Park) in the Yilgarn.

The reservation status of BIF in the Pilbara is significantly better than in the Yilgarn, as the Karijini National Park (627,422 ha) covers an extensive segment of the Hamersley Range incorporating the northern scarp, the uplands and a number of a deep gorge systems, and covers a significant range of vegetation types (Figure 4, 7a&b). While this park provides protection for a range of vegetation types, it is not representative of all the Pilbara BIFs given the high species turnover across this landscape.

The large scale of the open cut mines in the Pilbara, the ancient depauperate soils, and the arid climate, make rehabilitation a significant issue. It is estimated that 1200 km² has been mined in the last 20 years and will require rehabilitation (EPA 2013). In their assessment guideline the EPA note that perceived best practice rehabilitation often returns a low proportion of the pre-mined biodiversity values and improved rehabilitation outcomes across Western Australia will require significant investment in research and development of technology.

In the Yilgarn only one range system is in a Conservation Park (Class C) and various others are in ex-pastoral leases acquired by the Department of Parks and Wildlife and managed for conservation; however, these tenures do not exclude mining. Given the present land tenure and the high beta diversity of the ranges, Gibson *et al.* (2012) suggested that conservation management priority should be based on the patterns of BIF specialists that highlight areas where significant evolutionary processes are manifest. Unfortunately these are the same areas identified as the highest prospectivity for mining.

In the Pilbara the area of high co-occurrence of BIF specialists is partially covered by the Karijini National Park ensuring protection for some of this area (Figure 3). Significant progress has been made in developing landscape wide management priorities for threatened flora and fauna in the Pilbara, although full implementation will require substantial resources (Carwardine *et al.* 2014). Nevertheless, landscape wide management projects have commenced (e.g. Pilbara Corridors) and recent conditions applied to offset impacts of new mine developments are enabling a more strategic approach to addressing some threatening process in some areas. Further articulation of the biodiversity values of Pilbara BIFs should become evident through a strategic assessment of the cumulative environmental impacts of a 50 year plan for mining iron ore in the Pilbara that is currently being prepared by BHP Billiton Iron Ore.

In addition to the landscape scale processes described above, there is also significant concern regarding the likelihood of successful translocation, or reintroduction post mining, of some of the BIF endemics whose primary habitat is massive BIF outcrop. The landform changes incurred through post mining make it extremely unlikely that these endemics could be reintroduced given their very specific habitat requirements and demographic patterns (Yates *et al.* 2011).

While Government funded regional biological surveys (McKenzie *et al.* 2009; Gibson *et al.* 2012), detailed local surveys undertaken by proponents, and associated genetic studies, can provide the necessary biological data to make informed land use decisions, balancing the development and conservation interests will be challenging, and at times controversial, in these ancient landscapes given the long evolutionary history they encompass.

Acknowledgement

This paper is dedicated to Kieran McNamara (1954-2013) one time Director General of the Department of Environment and Conservation who had a lifelong commitment to achieving conservation outcomes for Western Australia and under whose tenure the regional surveys of the Yilgarn and Pilbara BIFs were undertaken. Margaret Byrne is thanked for her constructive comments on an earlier draft of the paper. Additional images were provided by J. McRae, Bennelongia Environmental Consultants; S. Grein, Fortescue Metals Group; A. Markey, S. Dillon, and K. Thiele, Department of Parks and Wildlife.

References

- Armitage, G. 2013. *Resource and energy statistics 2013*. Canberra: Commonwealth of Australia, Bureau of Resources and Energy Economics.
- Baselga, A. 2010. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 19: 134-143.
- Baselga, A. & Orme, C.D.L. 2012. Betapart: an R package for the study of beta diversity. *Methods in Ecology and Evolution*, 3: 808-812.
- Butcher, P.A.; McNee, S.A. & Krauss, S.L. 2009. Genetic impacts of habitat loss on the rare ironstone endemic *Tetratheca paynterae* subsp. *paynterae*. *Conservation Genetics*, 10: 1735-1746.
- Butcher, R. 2007. New taxa of 'leafless' *Tetratheca* (Elaeocarpaceae, formerly Tremandraceae) from Western Australia. *Australian Systematic Botany*, 20: 139-160.
- Butcher, R.; Byrne, M. & Crayn, D.M. 2007. Evidence for convergent evolution among phylogenetically distant rare species of *Tetratheca* (Elaeocarpaceae, formerly Tremandraceae) from Western Australia. *Australian Systematic Botany*, 20: 126-138.
- Byrne, M. 2008. Evidence for multiple refugia at different time scales during Pleistocene climatic oscillations in southern Australia inferred from phylogeography. *Quaternary Science Reviews*, 27: 2576-2585.
- Byrne, M. & Hopper, S.D. 2008. Granite outcrops as ancient islands in old landscapes: evidence from phylogeography and population genetics of *Eucalyptus caesia* (Myrtaceae) in Western Australia. *Biological Journal of the Linnean Society*, 93: 177-188.
- Byrne, M.; Yeates, D.K.; Joseph, L.; Kearney, M.; Bowler, J.; Williams, M.A.; Cooper, S.; Donnellan, S.C.; Keogh, J.S.; Leys, R.; Melville, J.; Murphy, D.J.; Porch, N.; Wyrwoll, K.H. 2008. Birth of a biome: insights into the assembly and maintenance of the Australian arid zone biota. *Molecular Ecology*, 17: 4398-4417.
- Carwardine, J.; Nicol, S.; van Leeuwen, S.; Walters, B.; Firn, J.; Reeson, A.; Martin, T.G. & Chades, I. 2014. Priority threat management for Pilbara species of conservation significance. Brisbane: CSIRO Ecosystems Sciences.

- Coates, D.J. 2000. Defining conservation units in a rich and fragmented flora: implications for the management of genetic resources and evolutionary processes in south-west Australian plants. *Australian Journal of Botany*, 48: 329-339.
- Cooper, S.; Bradbury, J.H.; Saint, K.M.; Remko, L.; Austin, A.D. & Humphreys, W.F. 2007. Subterranean archipelago in the Australian arid zone: mitochondrial DNA phylogeography of amphipods from central Western Australia. *Molecular Ecology*: 16: 1533-1544.
- Cooper, S.; Hinze, S.; Leys, R.; Watts, C.H.S. & Humphreys, W.F. 2002. Islands under the desert: molecular systematics and evolutionary origins of stygobitic water beetles (Coleoptera: Dytiscidae) from central Western Australia. *Invertebrate Systematics*, 16: 589-598.
- Crayn, D.M.; Rossetto, M. & Maynard, D.J. 2006. Molecular phylogeny and dating reveals an Oligo-Miocene radiation of dry-adapted shrubs (former Tremandraceae) from rainforest tree progenitors (Elaeocarpaceae) in Australia. *American Journal of Botany*, 93: 1328-1342.
- Davidson, D.S. 1952. Notes on the pictographs and petroglyphs of Western Australia and a discussion on their affinities with appearances elsewhere on the continent. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 96: 82-84.
- Department of Mines & Petroleum. 2013. *Western Australian mineral and petroleum statistics digest 2012*. Perth: Department of Mines and Petroleum.
- Doughty, P.; Rolfe, J.K.; Burbridge, A.H.; Pearson, D.J. & Kendrick, P.G. 2011. Herpetological assemblages of the Pilbara biogeographic region, Western Australia: ecological associations, biogeographic patterns and conservation. *Records of the Western Australian Museum, Supplement*, 78: 315-340.
- Durrant, B.J.; Harvey, M.S.; Framenau, V.W.; Ott, R. & Waldock, J.M. 2010. Patterns in the composition of ground-dwelling spider communities in the Pilbara bioregion, Western Australia. *Records of the Western Australian Museum, Supplement*, 78: 185-204.
- Ellis, M. 1982. *Explanatory notes on the BELELE geological sheet*. Perth: Geological Survey of Western Australia.
- Environmental Protection Authority. 2013. *Environmental Assessment Guideline for Recommending environmental conditions*. Environmental Assessment Guideline 11, September 2013, p 10.
- Environmental Protection Authority. 2013. *Environmental Protection Authority 2012-13 Annual Report*. Perth: EPA.
- Fujioka, T., Chappell, J., Fifield, L.K., Rhodes, E.J. 2009. Australian desert dune fields initiated with Pliocene–Pleistocene global climatic shift. *Geology*, 37: 51-54.
- Fujioka, T.; Chappell, J.; Honda, M.; Yatsevich, I.; Fifield, K. & Fabel, D. 2005. Global cooling initiated stony deserts in central Australia 2-4 Ma, dated by cosmogenic ^{21}Ne - ^{10}Be . *Geology*, 33: 993-996.
- Gibson, L.A. & McKenzie, N.L. 2009. Environmental associations of small ground-dwelling mammals in the Pilbara region, Western Australia. *Records of the Western Australian Museum, Supplement*, 78: 91-122.
- Gibson, N.; Coates, D.J. & Thiele, K.R. 2007. Taxonomic research and the conservation status of flora in the Yilgarn Banded Iron Formation ranges. *Nuytsia*, 17: 1-12.

- Gibson, N.; Meissner, R.; Markey, A.S. & Thompson, W.A. 2012. Patterns of plant diversity in ironstone ranges in arid south western Australia. *Journal of Arid Ecology*, 77: 25-31.
- Gibson, N.; Yates, C.J. & Dillon, R. 2010. Plant communities of the ironstone ranges of south western Australia: hotspots for plant diversity and mineral deposits. *Biodiversity and Conservation*, 19: 3951-3962.
- Gole, M.J. 1981. Archean banded iron-formations, Yilgarn Block, Western Australia. *Economic Geology*, 76: 1954-1974.
- Government of Western Australia. 2007. *Strategic Review of the Conservation and Resource Values of the Banded Iron Formation of the Yilgarn Craton*. Perth: Department of Environment and Conservation & Department of Industry and Resources, Government of Western Australian.
- Gross, G.A. 1980. A classification of iron formations based on depositional environments. *Canadian Mineralogist*, 18: 215-222.
- Guthrie, N.A.; Weir, T. & Will, K. 2010. Localised and regional patterns in ground-dwelling beetle assemblages in a semi-tropical arid zone environment. *Records of the Western Australian Museum, Supplement*, 78: 169-184.
- Guzik, M. T.; Austin, A.D.; Cooper, S.J.B.; Harvey, M.S.; Humphreys, W.F.; Bradford, T.; Eberhard, S.M.; King, R.A.; Leijs, R. Muirhead, K.A. & Tomlinson, M. 2010. Is the Australian subterranean fauna uniquely diverse? *Invertebrate Systematics*, 24: 407-418.
- Halse, S.A.; Scanlon, M.D.; Cocking, J.S., Barron, H.J.; Richardson, J.B. & Eberhard, S.M. 2014. Pilbara stygofauna: deep groundwater of an arid landscape contains globally significant radiation of biodiversity *Records of the Western Australian Museum, Supplement*, 78: 443-483.
- Halse, S.A. & Pearson G.B. 2014. Troglifauna in the vadose zone: comparison of scraping and trapping results and sampling adequacy. *Subterranean Biology*, 13: 17-34.
- Harrison, S.E.; Guzik, M.T.; Harvey, M.S. & Austin, A.D. 2014. Molecular phylogenetic analysis of Western Australian troglobitic chthoniid pseudoscorpions (Pseudoscorpiones, Chthoniidae) points to multiple independent subterranean clades. *Invertebrate Systematics*, 28: 386-400.
- Harvey, M.S. 1988. A new troglobitic schizomid from Cape Range, Western Australia (Chelicerata: Schizomida). *Records of the Western Australian Museum*, 14: 15-20.
- Harvey, M.S. 2002. Short-range endemism amongst the Australian fauna: some examples from non-marine environments. *Invertebrate Systematics*, 16: 555-570.
- Harvey, M.S.; Gray, M.R.; Hunt, G.S. & Lee, D.C. 1993. The cavernicolous Arachnida and Myriapoda of Cape Range, Western Australia. *Records of the Western Australian Museum, Supplement*, 45: 129-144.
- Harvey, M.S., Berry, O., Edward, K.L. & Humphreys, G. 2008. Molecular and morphological systematics of hypogean schizomids (Schizomida : Hubbardiidae) in semiarid Australia. *Invertebrate Systematics*, 22: 167-194.
- Hopper, S.D. 2009. OCBIL theory: towards an integrated understanding of the evolution, ecology and conservation of biodiversity on old, climatically buffered, infertile landscapes. *Plant Soil*, 322: 49-86.

- How, R.A. & Cowan, M.A. 2006. Collections in space and time: geographical patterning of native frogs, mammals and reptiles through a continental gradient. *Pacific Conservation Biology*, 12: 111-133.
- Hugall, A.F.; Foster, R.; Hutchinson, M. & Lee, M.S.Y. 2008. Phylogeny of Australasian agamid lizards based on nuclear and mitochondrial genes: implications for morphological evolution and biogeography. *Biological Journal of the Linnean Society*, 93: 343-358.
- Humphreys, W.F. 1990. The biology of a troglobitic schizomid (Chelicerata: Arachnida) from caves in the semi-arid Cape Range, Western Australia. *Acta Zoologica Fennica*, 190: 181-186.
- Humphreys, W.F. 1993. Stygofauna in semi-arid tropical Australia: A Tethyan connection. *Mémoires de Biospéologie*, 20: 111-116.
- Humphreys, W.F. 2008. Rising from down under: developments in subterranean biodiversity in Australia from a groundwater fauna perspective. *Invertebrate Systematics*, 22: 85-101.
- Huston, D.L.; Blewett, R.S. & Champion, D.C. 2012. Australia through time: a summary of its tectonic and metallogenic evolution. *Episodes*, 35: 23-43.
- Jacobi, C.M.; Carmo, F.F.; Vicent, R.C. & Stehmann, J.R. 2007. Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 16: 2185-2200.
- Lanier, H.C.; Edwards, D.L. & Knowles, L.L. 2013. Phylogenetic structure of vertebrate communities across the Australian arid zone. *Journal of Biogeography*, 40: 1059-1070.
- Lewy, Z. 2012. Banded Iron Formations (BIFs) and associated sediments do not reflect the physical and chemical properties of early Precambrian seas. *International Journal of Geosciences*, 3: 226-236.
- Leys, R. & Watts, C.H. 2008. Systematics and evolution of the Australian subterranean hydroporine diving beetles (Dytiscidae), with notes on Carabhydrus. *Invertebrate Systematics*, 22: 217-225.
- Leys, R.; Watts C.S.; Cooper, S.B. & Humphreys, W.F. 2003. Evolution of subterranean diving beetles (Coleoptera : Dytiscidae : Hydroporini, Bidessini) in the arid zone of Australia. *Evolution*, 57: 2819-2834.
- Majer, J. 2009. Saga of short-range endemics. *Australian Journal of Entomology*, 48: 265-268.
- Marin, J.; Donnellan, S.C.; Hedges, S.B.; Doughty, P.; Hutchinson, M.N.; Cruaud, C. & Vidal, N. 2013. Tracing the history and biogeography of the Australian blindsnake radiation. *Journal of Biogeography*, 40: 928-937.
- Maryan, B., Oliver, P.M., Fitch, A.J. & O'Connell, M. 2014. Molecular and morphological assessment of *Varanus pilbarensis* (Squamata: Varanidae), with a description of a new species from the southern Pilbara, Western Australia. *Zootaxa*, 3768: 139-158.
- McKenzie, N.L.; Burbidge, A.A.; Baynes, A.; Brereton, R.; Dickman, C.R.; Gibson, L.A.; Gordon, G.; Menkhorst, R.W.; Robinson, A.C.; Williams, M.R. & Woinarski, J.C.Z. 2006. Analysis of factors implicated in the recent decline of Australia's mammalian fauna. *Journal of Biogeography*, 34: 597-611.
- McKenzie, N.L.; van Leeuwen, S. & Pinder, A.M. 2009. Introduction to the Pilbara biodiversity survey, 2002–2007. *Records of the Western Australian Museum, Supplement*, 78: 3-89.

- Millar, M.A.; Coates, D.J. & Byrne, M. 2013. Genetic connectivity and diversity in inselberg populations of *Acacia woodmaniorum*, a rare endemic of the Yilgarn Craton banded iron formations. *Heredity*, 111: 437-444.
- Millar, M.A.; Coates, D.J. & Byrne, M. 2014. Extensive long-distance pollen dispersal and highly outcrossed mating in historically small and disjunct populations of *Acacia woodmaniorum* (Fabaceae), a rare banded iron formation endemic. *Annals of Botany*, 114: 437-444.
- Mole, D.R.; Fiorentini, M.L.; Cassidy, K.F.; Kirkland, C.L.; Thebaud, N.; McCuaig, T.C.; Doublier, M.P.; Duuring, P.; Romano, S.S. & Maas, R. 2013. Crustal evolution, intra-cratonic architecture and the metallogeny of an Archaean craton. London: Geological Society, Special Publications, 393.
- Moritz, C. 1994. Defining 'Evolutionarily Significant Units' for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 9: 373-375.
- Morris, R.C. & Kneeshaw, M. 2011. Genesis modelling for the Hamersley BIF-hosted iron ores of Western Australia: a critical review. *Australian Journal of Earth Sciences: An International Geoscience Journal of the Geological Society of Australia*, 58: 417-451.
- Nistelberger, H.; Byrne, M.; Coates, D. & Roberts, J.D. 2014. Strong phylogeographic structure in a millipede indicates Pleistocene vicariance between populations on banded iron formations in semi-arid Australia. *PLoS ONE*, 9: e93038.
- Oliver, P.M. & Bauer, A.M. 2011. Systematics and evolution of the Australian knob-tail geckos (Nephruroides, Carphodactylidae, Gekkota): plesiomorphic grades and biome shifts through the Miocene. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 59: 664-674.
- Pepper, M.; Doughty, P.; Arculus, R. & Keogh, J.S. 2008. Landforms predict phylogenetic structure on one of the world's most ancient surfaces. *BMC Evolutionary Biology*, 8: 152.
- Pepper, M.; Doughty, P. & Keogh, J.S. 2013. Geodiversity and endemism in the iconic Australian Pilbara region: a review of landscape evolution and biotic response in an ancient refugium. *Journal of Biogeography*, 40: 1225-1239.
- Pepper, M.; Fujita, M.K.; Moritz, C. & Keogh, J.S. 2011. Palaeoclimate change drove diversification among isolated mountain refugia in the Australian arid zone. *Molecular Ecology*, 20: 1529-1545.
- Pinheiro, F.; Cozzolino, S.; Draper, D.; Barros, F.; Félix, L.P.; Fay, M.F. & Palma-Silva, C. 2014. Rock outcrop orchids reveal the genetic connectivity and diversity of inselbergs of northeastern Brazil. *BMC Evolutionary Biology*, 14: 49.
- Piper, D. 2009. Troglodytes can't stand in the way of troglobitic fauna [online]. *Australia's Paydirt*, 1(159): 96.
- Posth, N.R.; Konhauser, K.O. & Kappler, A. 2011. Banded Iron Formations. In: Reitner, J. & Thiel, V. *Encyclopedia of Geobiology*. XXVIII. Springer. p. 92-103.
- Powney, G.D.; Grenyer, R.; Orme, C.D.L.; Owens, P.F. & Meiri, S. 2010. Hot, dry and different: Australian lizard richness is unlike that of mammals, amphibians and birds. *Global Ecology and Biogeography*, 19: 386-396.

- Rabosky, D.L.; Donnellan, S.C.; Talaba, A.L. & Lovette, I.J. 2007. Exceptional among-lineage variation in diversification rates during the radiation of Australia's most diverse vertebrate clade. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274: 2915-2923.
- Sarthou, C.; Samadi, S. & Boisselier-Dubayle, M. 2001. Genetic structure of the saxicole *Pitcairnia geyskesii* (Bromeliaceae) on inselbergs In French Guiana. *American Journal of Botany*, 88: 861-868.
- Sydney Morning Herald. 2007. Spider-like troglobite stops \$12b mine. 29th March issue.
- Tapper, S-L.; Byrne, M.; Yates, C.L.; Keppel, G.; Hopper, S.D.; Van Niel, K.; Schut, A.G.T.; Mucina, L. & Wardell-Johnson, G.W. 2014a. Isolated with persistence or dynamically connected? Genetic patterns in a common granite outcrop endemic. *Diversity and Distributions*, 20: 987-1001.
- Tapper, S-L.; Byrne, M.; Yates, C.L.; Keppel, G.; Hopper, S.D.; Van Niel, K.; Schut, A.G.T.; Mucina, L. & Wardell-Johnson, G.W. 2014b. Prolonged isolation and persistence of a common endemic on granite outcrops in both mesic and semi-arid environments in southern-western Australia. *Journal of Biogeography*. DOI: 10.1111/jbi 12343.
- Trendall, A.F. 2002. The significance of iron-formation in the Precambrian stratigraphic record. *International Association of Sedimentologists, Special Publication*, 33: 33-66.
- Van Etten, E. 2009. Inter-annual rainfall variability in arid Australia: greater than elsewhere? *Australian Geographer*, 40: 109-120.
- van Leeuwen, S. & Bromilow, B. 2002. *Botanical survey of the Hamersley Range uplands*. Final Report, National Reserve System Project N709. Perth: Western Australian Department of Conservation and Land Management.
- Wege, J.A.; Shepherd, K.A. & Butcher, R. 2007. Preface: Special edition funded by the Western Australian Government's 'Saving our Species' biodiversity conservation initiative. *Nuytsia*, 17: i.
- Wege, J.A.; Thiele, K.R.; Shepherd, K.A.; Butcher, R.; Macfarlane, T.D. & Coates, D.J. 2014. Strategic taxonomy in a biodiverse landscape: a novel approach to maximizing conservation outcomes for rare poorly known flora. *Biodiversity and Conservation*. DOI: 10.1007/s10531-014-0785-4.
- Woinarksi, J.; Fensham, R.; Whitehead, P. & Fisher, A. 2000. *Digest of biodiversity changes and threatening processes across each rangeland bioregion*. Appendix A to background paper 1: A review of changes in status and threatening processes. Darwin: Tropical Savannahs Cooperative Research Centre.
- Yates, C.J.; Gibson, N.; Pettit, N.E.; Dillon, R. & Palmer, R. 2011. The ecological relationships and demography of restricted ironstone endemic plant species: implications for conservation. *Australian Journal of Botany*, 59: 692-700.
- Yates, C.J.; Ladd, P.G.; Coates, D.J. & McArthur, S. 2007. Hierarchies of cause: understanding rarity in an endemic shrub *Verticordia staminosa* (Myrtaceae) with a highly restricted distribution. *Australian Journal of Botany*, 55: 194-205.

Appendix 1 - BIF specialist plants in the Pilbara. Endemic species are entirely restricted to BIF substrates, species centred on BIF distributions extend to other substrates. Nomenclature follows current usage at Western Australian Herbarium.

Family	Taxon	Distribution
Araliaceae	<i>Astrotricha hamptonii</i>	centered on BIF
Asteraceae	<i>Apowollastonia hamersleyensis</i>	centered on BIF
	<i>Pilbara trudgenii</i>	endemic
	<i>Pleurocarpaea gracilis</i>	endemic
	<i>Senecio hamersleyensis</i>	centered on BIF
Brassicaceae	<i>Lepidium catapycnon</i>	centered on BIF
Celastraceae	<i>Maytenus</i> sp. Mt Windell (S. van Leeuwen 846)	centered on BIF
Dilleniaceae	<i>Hibbertia glaberrima</i>	centered on BIF
Elaeocarpaceae	<i>Tetratheca fordiana</i>	endemic
Fabaceae	<i>Acacia bromilowiana</i>	centered on BIF
	<i>Acacia daweana</i>	centered on BIF
	<i>Acacia effusa</i>	centered on BIF
	<i>Acacia exilis</i>	centered on BIF
	<i>Acacia hamersleyensis</i>	centered on BIF
	<i>Acacia marramamba</i>	centered on BIF
	<i>Acacia thoma</i>	centered on BIF
	<i>Gompholobium karijini</i>	endemic
	<i>Gompholobium oreophilum</i>	centered on BIF
	<i>Indigofera ixocarpa</i>	centered on BIF
	<i>Indigofera</i> sp. Bungaroo Creek (S. van Leeuwen 4301)	centered on BIF
	<i>Indigofera</i> sp. Fractiflexa (S. van Leeuwen 3773)	centered on BIF
	<i>Senna ferraria</i>	centered on BIF
	<i>Tephrosia oxalidea</i>	centered on BIF
Goodeniaceae	<i>Dampiera anonyma</i>	centered on BIF
	<i>Dampiera metallorum</i>	endemic
	<i>Scaevola</i> sp. Mt Bruce (M.E. Trudgen 1333)	endemic
	<i>Scaevola</i> sp. Mt Nameless (PAS Wurm 1443)	endemic
Hemerocallidaceae	<i>Tricoryne</i> sp. Hamersley Range (S. van Leeuwen 915)	centered on BIF
Lamiaceae	<i>Newcastelia</i> sp. Hamersley Range (S. van Leeuwen 4264)	centered on BIF
Malvaceae	<i>Brachychiton acuminatus</i>	centered on BIF
	<i>Corchorus incanus</i> subsp. <i>lithophilus</i>	centered on BIF
	<i>Corchorus</i> sp. Hamersley Range (S. van Leeuwen 3586)	endemic

Family	Taxon	Distribution
	<i>Corchorus</i> sp. Hamersley Range hilltops (S. van Leeuwen 3826)	centered on BIF
	<i>Hibiscus haynaldii</i>	centered on BIF
	<i>Hibiscus</i> sp. Mt Robinson (G. Byrne 3537)	endemic
	<i>Hibiscus</i> sp. Canga (PJH Hurter & J Naaykens 11013)	endemic
	<i>Hibiscus</i> sp. Gurinbidy (MET 15708)	endemic
	<i>Hibiscus</i> sp. Mt Brockman (E Thoma ET 1354)	endemic
	<i>Sida</i> sp. Barlee Range (S. van Leeuwen 1642)	centered on BIF
	<i>Sida</i> sp. Hamersley Range (K. Newbey 10692)	centered on BIF
	<i>Sida</i> sp. Shovelanna Hill (S. van Leeuwen 3842)	centered on BIF
	<i>Triumfetta leptacantha</i>	centered on BIF
Myrtaceae	<i>Aluta quadrata</i>	centered on BIF
	<i>Eucalyptus aridimontana</i>	endemic
	<i>Eucalyptus lucens</i>	endemic
	<i>Eucalyptus pilbarensis</i>	centered on BIF
	<i>Eucalyptus repullulans</i>	centered on BIF
Oxalidaceae	<i>Oxalis</i> sp. Pilbara (M.E. Trudgen 12725)	centered on BIF
Phyllanthaceae	<i>Sauropus</i> sp. Koodaideri detrials (J Naaykens & J Hurter JH 11213)	endemic
Poaceae	<i>Eragrostis</i> sp. Mt Robinson (S. van Leeuwen 4109)	endemic
	<i>Themeda</i> sp. Mt Barricade (M.E. Trudgen 2471)	centered on BIF
	<i>Triodia</i> sp Mt Ella (M.E. Trudgen 12739)	centered on BIF
	<i>Triodia</i> sp. Karijini (S. van Leeuwen 4111)	centered on BIF
	<i>Triodia</i> sp. Robe River (M.E. Trudgen 12367)	centered on BIF
	<i>Triodia</i> sp. Shovelanna Hill (S. van Leeuwen 3835)	centered on BIF
Proteaceae	<i>Grevillea saxicola</i>	centered on BIF
Rhamnaceae	<i>Cryptandra monticola</i>	centered on BIF
Rubiaceae	<i>Pomax rupestris</i>	centered on BIF
Scrophulariaceae	<i>Eremophila appressa</i>	centered on BIF
	<i>Eremophila jucunda</i> subsp. <i>pulcherrima</i>	centered on BIF
	<i>Eremophila magnifica</i> subsp. <i>magnifica</i>	endemic
	<i>Eremophila magnifica</i> subsp. <i>velutina</i>	endemic
	<i>Eremophila petrophila</i> subsp. <i>petrophila</i>	centered on BIF
	<i>Eremophila phyllopoda</i> subsp. <i>obliqua</i>	centered on BIF
	<i>Eremophila</i> sp. Snowy Mountain (S. van Leeuwen 3737)	endemic
	<i>Eremophila</i> sp. West Angelas (S. van Leeuwen 4068)	endemic

QUENTES, SECAS E ANTIGAS: FORMAÇÕES FERRÍFERAS BANDADAS DA AUSTRÁLIA OCIDENTAL

Neil Gibson, David Coates, Stephen van Leeuwen & Colin Yates

Introdução

As formações ferríferas bandadas (FFB) da Austrália Ocidental limitam-se aos dois crátons mais antigos da região: Yilgarn, no sul, e Pilbara, no noroeste, os quais formaram o núcleo do continente australiano que se desenvolvia (Figura 1; Huston *et al.* 2012). Ainda não foi atingido um consenso sobre as origens das FFBs (Posth *et al.* 2011, Lewy 2012), mas dois grandes grupos têm sido reconhecidos: FFB Algoma, formações que geralmente apresentam pequena extensão lateral e são frequentemente associadas a rochas vulcânicas; e FFB Superior, as quais, ao contrário, apresentam grande extensão e pouca influência vulcânica (Gross 1980; Posth *et al.* 2011). O tipo Algoma descreve melhor as FFBs de Yilgarn, que são relativamente pequenas e imersas em cinturões de rochas verdes arqueanas (do inglês *greenstone belts*) de origem vulcânica que sofreram deformação significativa (Figura 2a&b). Já o tipo Superior descreve melhor as FFBs de Pilbara, que ocorrem no Maciço de Hamersley. Estes depósitos são imensos, cobrindo uma área de mais de 60.000 km², com camadas de mais de 100 m, e têm padrões de bandamento em macro e microescala que podem ser seguidos por 80-300 km (Figura 3). Acredita-se que foram formados em grandes bacias sedimentares (Trendall 2002). Menores ocorrências do tipo Algoma são encontradas em outros locais do Pilbara (Figura 3).

Apesar das FFBs do Maciço de Hamersley terem-se formado mais tarde (2.590 – 2.450 Ma) do que as de Yilgarn (3.000 – 2.800 Ma) (Trendall 2002; Mole *et al.* 2013), a geoquímica de ambas é muito parecida, assim como os padrões de meso- e microbandamento, sugerindo uma origem geoquímica semelhante. Embora alguns autores rejeitem a classificação das FFBs da Austrália Ocidental nos tipos Algoma vs. Superior e sugiram que as diferenças em espessura e extensão tenham surgido principalmente a partir de um retrabalhamento metamórfico que ocorreu durante a gênese do cráton Yilgarn (Gole 1981; Trendall 2002), esta classificação forma uma subdivisão útil de tipos de FFBs na Austrália Ocidental. No Pilbara estão incluídos os depósitos fluviais de ferro do Terciário formados em sinuosos paleocanais de drenagem e os depósitos detríticos de ferro formados sobre encostas, que resultaram da deposição pliocênica advinda da erosão de FFBs arqueanas e proterozoicas vizinhas. Estas ocorrem através da Bacia de Hamersley e se formaram há cerca de 28–5 Ma (Huston *et al.* 2012).

Trabalhos recentes no Brasil e na Austrália mostraram que algumas áreas das FFBs são importantes centros de diversidade (Jacobi *et al.* 2007; Gibson *et al.* 2010; Gibson *et al.* 2012; Pepper *et al.* 2013), o que pode levar a difíceis decisões sobre o uso da terra, já que as FFBs também são uma importante fonte de minério de ferro. Neste capítulo, nós vamos rever o que se sabe sobre a biota destes antigos sistemas ferríferos e, então, fornecer algumas estatísticas atuais sobre a mineração de ferro na Austrália Ocidental, descrever brevemente os processos governamentais seguidos no desenvolvimento da proposta de mineração, e discutir as estratégias que estão sendo desenvolvidas para tentar minimizar os impactos da mineração sobre os objetos de valores para a conservação.

Figura 1 - Localização dos crátons Yilgarn e Pilbara na Austrália Ocidental. Áreas de FFBs são mostradas em amarelo. No Pilbara, a distribuição é baseada em mapeamento 1:250.000; no Yilgarn, apenas os maciços ferríferos amostrados são identificados, devido à falta de um mapeamento uniforme. As localizações dos dois centros de diversidade das espécies especialistas das FFBs no Yilgarn são representadas por círculos azuis. As fronteiras dos crátons são representadas em vermelho; isoietas em intervalos de 300 mm estão em preto. O modelo digital de terreno mostra as planícies em verde a as áreas de maior altitude variando de marrom a roxo.

Flora

A flora das FFBs do Yilgarn e Pilbara tem sido pouco documentada até recentemente e o status de conservação de muitos táxons permanece desconhecido. No entanto, o aumento da exploração do minério de ferro na Austrália Ocidental resultou em dramático aumento do levantamento botânico nas faixas das FFBs e entorno em ambas regiões. Concomitantemente, tem havido um aumento no esforço taxonômico para delimitar e descrever novas espécies e avaliar seus status de conservação (Gibson *et al.* 2007; Wege *et al.* 2014). Por exemplo, um estudo taxonômico feito em 2006 e 2007, nas faixas das FFBs de Yilgarn e outras áreas de alto potencial para a mineração, resultou em 95 novos táxons descritos, que pertencem a 21 famílias e 33 gêneros, dos quais 78 táxons foram considerados de interesse para a conservação (Wege *et al.* 2007). Apesar deste esforço, há muitos outros táxons nas FFBs do Yilgarn e Pilbara de provável importância para a conservação que ainda não foram descritos.

Comparação dos padrões do Yilgarn e Pilbara

Composição e formas de vida

A vegetação e flora foram estudadas em detalhe em 24 maciços no Yilgarn e um levantamento recente dos padrões encontrados nestas regiões foi publicado (Gibson *et al.* 2012) (Figura 1). A FFB nestas faixas tende a ocorrer na forma de afloramento linear altamente metamorfizado dentro

de cinturões mais largos de rochas verdes. O afloramento de FFB geralmente se estende por 30–50 km de comprimento e por até 5 km de largura, e raramente se eleva mais do que 200 m em relação à planície circundante. Uma flora de 906 táxons foi registrada nesses maciços, os quais são caracterizados por alta diversidade beta e concentração de endemismos em determinadas regiões das FFBs. A área entre os cinturões de rocha verde é dominada por floresta ou arbustal desenvolvidos sobre depósitos coluviais e aluviais, ou sobre planícies arenosas que se desenvolveram *in situ* a partir da laterização durante o Terciário. Ocasionalmente rochas graníticas do embasamento cristalino afloram como inselbergs na forma de domo. O clima é caracterizado como mediterrâneo semiárido no sudoeste, modificando-se gradualmente para tropical semiárido no nordeste. A precipitação é geralmente associada a frentes imersas nas correntes de ar vindas do oeste durante o inverno. A influência destas correntes de ar diminui ao norte, onde a precipitação proveniente de tempestades tropicais que perderam a força se torna mais importante.

No presente trabalho, nós comparamos os padrões de flora e vegetação encontrados nas FFB do Yilgarn com aqueles encontrados em um inventário compreendendo 72 topos de montanhas dos maciços de Hamersley no Pilbara (van Leeuwen & Bromilow 2002). Registros de herbário indicam que no Maciço de Hamersley há uma flora de 1.385 táxons, dos quais 818 ocorrem em áreas mapeadas como FFB. O Maciço de Hamersley é uma vasta extensão anastomosada da FFB, estendendo-se na direção leste-oeste por 400 km e na direção norte-sul por 120 km, e ocupando grande parte da porção sul do cráton Pilbara (Figura 3). Sua topografia é bem mais diversa que a das faixas de Yilgarn, com um escarpamento íngreme ao longo da fronteira norte, separada pelo Vale de Fortescue das rochas vulcânicas do Maciço de Chichester (Figura 4a). A porção norte do cráton Pilbara é coberta por rochas graníticas do embasamento cristalino e é circundada ao norte e leste por desertos arenosos, ao oeste pelo mar e ao sul por rochas altamente metamorfozadas. A região possui clima tropical semiárido com chuvas de verão episódicas e erráticas, originadas em grande parte por tempestades tropicais e sistemas ciclônicos (van Etten 2009).

Figura 2 - FFBs do cráton Yilgarn. a) Detalhe do afloramento da FFB, mostrando a natureza altamente deformada das FFB do Yilgarn em uma escala muito fina, centimétrica. b) A FFB do Jasper Hill é dominada por arbustais na área montanhosa e florestas de eucaliptos nas áreas de inclinações menores e planas. A orientação vertical do bandamento indica deformação na escala da paisagem. c) *Spartothamnella* sp., proveniente do Maciço Helena & Aurora (PG. Armstrong 155-109) (Família: Lamiaceae), é uma espécie especialista da FFB que atualmente está sob revisão taxonômica. Imagens a: A. Markey; b: S. Dillon; c: K. Thiele.

Figura 3 - São mostradas as FFBs no Pilbara (em amarelo), a localização das parcelas amostradas (pontos verdes) e as maiores unidades de conservação (delineadas). O Maciço de Hamersley é o extenso sistema de montanhas ao sul do Vale de Fortescue, que tem o Maciço de Chichester ao norte. As fronteiras simplificadas do cráton são mostradas em vermelho. O modelo digital de terreno mostra as planícies em verde e as áreas de maior altitude variando de marrom a roxo.

Em um inventário no Pilbara foram estabelecidas parcelas de 50 x 50 m em cada uma das 72 áreas elevadas perto do topo e amostradas em duas ocasiões (Figura 3). Em cada parcela foram registradas todas as plantas vasculares encontradas, em conjunto com uma descrição padrão do site e mapeamento do local com GPS. O estudo do Yilgarn foi baseado em 50 parcelas de 20 x 20 m amostradas uma única vez em cada um dos 24 maciços. Os métodos de análise de dados são detalhados em Gibson *et al.* (2012) e espécies anuais foram excluídas de algumas análises.

Formas de vida e famílias dominantes

As formas de vida encontradas nas FFBs do Pilbara mostram um aumento da dominância de plantas perenes em comparação ao Yilgarn (Figura 5). Embora os arbustos sejam a forma de vida mais comum em ambas as regiões, o Pilbara apresenta menores proporções de herbáceas anuais, geófitas e gramíneas anuais e uma importância relativa maior de herbáceas perenes, árvores, trepadeiras e parasitas perenes e touceiras de gramíneas (*hummock grasses*). Esta diferença na composição das formas de vida é provavelmente causada por diferenças no clima entre as duas regiões (predominância de chuvas de inverno no Yilgarn, e chuvas de verão no Pilbara), já que padrões de dominância semelhantes são observados em outros substratos no Pilbara. Em relação à estrutura da vegetação, a diferença mais óbvia é a dominância de touceiras da gramínea perene *Triodia* através do Pilbara, as quais, com poucas exceções, são incomuns nas FFBs do Yilgarn.

A composição geral da flora em termos das famílias mais bem representadas também mostra algumas diferenças (Figura 6). Asteraceae e Fabaceae são as famílias mais ricas em espécies em ambas as áreas, que também apresentam proporções semelhantes de Myrtaceae e Poaceae. No entanto, a família Malvaceae é muito mais rica e a família Chenopodiaceae muito menos rica no Pilbara do que no Yilgarn. Proporções crescentes das famílias Goodeniaceae, Amaranthaceae e Solanaceae também são evidentes no Pilbara.

Figura 4 - FFBs do cráton Pilbara. a) escarpamento ao norte do Maciço de Hamersley visto ao sul do Vale de Fortescue; note a sequência de camadas horizontais na FFB. b) *Callitris glaucophylla* (Família: Cupressiaceae) em topos protegidos do fogo dos maiores penhascos e sistemas de desfiladeiros do Maciço de Hamersley. c) *Astrotricha hamptonii* (Família: Araliaceae) é uma espécie especialista da FFB em um afloramento de FFB no Parque Nacional Karijini. Imagens: S. van Leeuwen.

Figura 5 - Formas de vida da flora nas FFBs com frequência > 1% nos crátons Yilgarn e Pilbara. Os táxons perenes em cada parcela representam a média por faixa no Yilgarn e o máximo e mínimo por parcela no Pilbara; n é o número de táxons registrados.

Figura 6 - A percentagem das dez famílias mais comuns da flora nas FFBs do Yilgarn e do Pilbara; n é o número de famílias registradas.

Riqueza e taxa substituição de espécies

No Yilgarn, 62% dos táxons foram encontrados em menos de 10% das parcelas (120 parcelas), e uma proporção semelhante foi encontrada no Pilbara, com 58% dos táxons registrados em menos de 10% das parcelas (7 parcelas). Isto indica uma rápida taxa de substituição na composição de espécies através das FFBs tanto do Yilgarn como do Pilbara. Uma diferente medida de diversidade beta foi desenvolvida por Baselga (2010, 2012), estendendo a medida de dissimilaridade de Sørensen para cobrir múltiplos locais (β_{SOR}), que pode ser decomposta em componentes relacionados à taxa de substituição de espécies (β_{SIM}) e aninhamento (β_{SNE}). Tanto o Yilgarn como o Pilbara mostram padrões semelhantes de alta taxa de substituição de espécies, sendo a taxa registrada para o Yilgarn levemente maior do que aquela registrada para o Pilbara (Tabela 1). A alta taxa de substituição de espécies tanto no Yilgarn como no Pilbara é da mesma ordem que aquela registrada nas florestas de *Banksia*, rica em espécies, localizada no altamente diverso sudoeste da Austrália Ocidental (Gibson, dados não publicados).

No Yilgarn, atributos espaciais, química do solo e clima explicaram individualmente entre 25 e 49% da variação em riqueza de espécies perenes e, com a inclusão das variáveis do local, explicaram um total de 60% da variabilidade em riqueza de espécies (Figura 3a em Gibson *et al.* 2012). No Pilbara, a química do solo, o clima e atributos espaciais não conseguiram explicar a variação na riqueza de espécies perenes.

Similarmente, modelos de composição de espécies perenes no Pilbara tiveram pouco poder explicativo. Vetores significativos foram determinados por seleção progressiva de dados do clima (isotermalidade, sazonalidade da temperatura), da química do solo (Ca, Mg) e espaciais (9 vetores); porém, estes explicaram apenas 8% da variância total. A altitude não apresentou nenhum poder explicativo em termos de composição de espécies. Em contrapartida, os modelos do Yilgarn para composição de espécies contabilizaram 34% da variância total (Gibson *et al.* 2012).

Tabela 1 - A partição da medida de dissimilaridade de Sørensen para múltiplos locais em componentes relacionados à taxa de substituição de espécies (β_{SIM}) e aninhamento (β_{SNE}) foi baseada em Baselga (2010, 2012). Para os conjuntos de dados das faixas do Pilbara (72 parcelas), das faixas combinadas do Yilgarn (1217 parcelas) e das florestas *Banksia* no sudoeste da Austrália (134 parcelas), foi usado um procedimento de reamostragem para padronizar o tamanho da amostra em 50 parcelas.

	β_{SOR}	β_{SIM}	β_{SNE}
Faixas individuais do Yilgarn	0.943–0.956	0.926 – 0.943	0.007 – 0.019
Faixas combinadas do Yilgarn	0.961	0.948	0.014
Pilbara	0.944	0.928	0.017
Florestas <i>Banksia</i>	0.952	0.939	0.012

Figura 7 - FFBs do Pilbara. a) planalto de topo plano encontrado no Parque Nacional Karijini no centro do Pilbara. b) vista para o Monte Bruce, o segundo maior pico do Maciço de Hamersley. c) *Hibbertia glaberrima* (Família: Dilleniaceae), uma especialista da FFB do Pilbara. Barra de escala: 10 mm. d) *Scaevola* sp. proveniente do Monte Nameless (P.A.S. Wurm 1443) (Family: Goodeniaceae), uma espécie endêmica da FFB, restrita a um único topo de montanha. Barra de escala: 10 mm. Imagens a,b,c: S. van Leeuwen; d: K. Thiele.

Táxons concentrados nas FFB

Sabe-se que 44 espécies são endêmicas ou têm o seu centro de distribuição localizado nos maciços da FFB do Yilgarn (aqui denominadas especialistas da FFB) (Figura 2c). Quando a distribuição espacial destas espécies foi plotada em quadrículas (15' x 15'), duas concentrações destes especialistas da FFB foram encontradas ao longo da fronteira da Zona Árida (mais ou menos equivalente à isoieta de 300 mm de pluviosidade do sudoeste (Byrne *et al.* 2008), que separa as florestas e arbustais ricos em espécies do sudoeste da esparsa vegetação do interior (Figura 1) (Gibson *et al.* 2012).

Uma lista de espécies do Pilbara, cujo centro de distribuição é restrito à FFB, ou tem seu centro de distribuição localizado na FFB, foi compilada a partir de diversas fontes e checada em relação à informação de distribuição atualmente em poder do Herbário da Austrália Ocidental. Um total de 66 especialistas da FFB foi identificado, 20 dos quais parecem ser endêmicos da FFB (Figuras 4c e 7c&d, Apêndice 1). O padrão de coocorrência (número de espécies por quadrícula) destes especialistas da FFB do Pilbara foi examinado usando os registros e dados de inventário do Herbário da Austrália Ocidental. Como no Yilgarn, especialistas da FFB estão concentrados em áreas específicas, neste caso em áreas do centro e leste do Maciço de Hamersley (Figura 8).

Figura 8 - Número de especialistas da FFB do Pilbara (táxons endêmicos ou que têm o seu centro de distribuição localizado na FFB) por quadrícula. As células com a mais alta concentração de especialistas da FFB se sobrepõem ao local do Parque Nacional Karijini. As maiores unidades de conservação estão delineadas como na Figura 3; fronteira simplificada do cráton Pilbara em vermelho; mapa 1:250.000 da FFB mostrado em cinza.

A separação da variância da riqueza das especialistas da FFB encontradas no conjunto de dados do Pilbara (38 dos 60 táxons ocorreram em 72 parcelas) mostrou que a altitude foi o fator mais importante (explicou 41% da variância total, sendo 12 % da variância exclusivamente explicada pela altitude). A química do solo (Mg e Ca) explicou mais 6% da variância, e o clima (temperatura máxima do mês mais quente) não explicou a variância sozinho (Figura 9). No total, o modelo explicou 43% da variância da riqueza dos especialistas da FFB. Isto é consistente com o mapeamento de espécies, que mostrou a concentração de especialistas da FFB ocorrendo no ponto mais alto do Maciço de Hamersley (Figura 8). No Yilgarn, a localização espacial, o solo, o clima e o local explicaram 34% da variância da riqueza dos especialistas da FFB, sem a dominância de nenhum fator (Figura 4 em Gibson *et al.* 2012).

Figura 9 - Separação da variação da riqueza de espécies perenes de especialistas da FFB do Pilbara usando os conjuntos de dados de altitude, solo e clima. O retângulo indica o total da variação na riqueza de espécies de especialistas da FFB, os círculos no interior do retângulo representam a proporção da variação atribuída aos diferentes conjuntos de dados. As contribuições exclusivas e conjuntas de cada conjunto de dados são mostradas na figura. O total da variação explicada independentemente por cada conjunto de dados é mostrado entre parênteses.

Fauna

Invertebrados

Uma das mais importantes descobertas em biodiversidade da Austrália Ocidental nos últimos anos foi a diversa fauna subterrânea de troglóbios (organismos que residem em cavidades cheias de ar conhecidas em inglês como “*vugs*”) e estigobiontes (organismos que residem em cavidades cheias de água), entre os quais estão incluídos principalmente hexápodes, aracnídeos, miriápodes e crustáceos (Humphreys 1990, 1993; Harvey *et al.* 1993; Humphries 2008; Harrison *et al.* 2014) (Figura 10). Estudos filogenéticos sobre a fauna de estigobiontes (Leys *et al.* 2003; Cooper *et al.* 2002; Cooper *et al.* 2007) mostraram que ela é caracterizada por muitas espécies endêmicas com áreas de distribuição geográfica restritas (Harvey 2002) a aquíferos formados em sequências sedimentares não consolidadas, calcretes, rochas carbonáticas e fraturadas (Halse *et al.* 2014). Embora os rebaixamentos dos lençóis de água subterrâneos e as mudanças na qualidade da água associadas à mineração e diversificação da pecuária possam ter impactos significativos sobre a fauna de estigobiontes (Halse *et al.* 2014), a discussão aqui se concentra na biologia da fauna de troglóbios das FFBs do Pilbara.

Acredita-se que os troglóbios tenham evoluído da fauna da serapilheira de uma floresta tropical do Terciário após a aridificação da metade do Terciário (Humphries 2008; Byrne *et al.* 2008). Os troglóbios ocorrem principalmente na zona vadosa de aquíferos em calcretes e em cavidades de rochas fraturadas no Pilbara e Yilgarn (Harvey *et al.* 2008; Harrison *et al.* 2014). A taxonomia e distribuição da fauna de troglóbios no Pilbara ainda é pouco conhecida, com 549 táxons registrados em inventários cobrindo menos de 1% da região (Halse e Pearson 2014). O estado do conhecimento dos troglóbios no Yilgarn é ainda menos desenvolvido. A estimativa recente da fauna de troglóbios alcançando 960 táxons na metade ocidental da Austrália é possivelmente conservadora (Guzik *et al.* 2010).

As primeiras coleções da Austrália Ocidental vieram de sistemas de cavernas de calcário (Harvey 1988), mas na metade de 2007 uma fauna de troglóbios das FFBs veio a público com a descoberta de troglóbios no vale do Rio Robe, no Pilbara. Descobriu-se que diversos planaltos de depósitos fluviais de ferro, alguns dos quais tinham sido minerados e outros com prospecção para a mineração, abrigavam uma diversa fauna troglóbia em numerosas cavidades (*vugs*) e fissuras internas (Harvey *et al.* 2008). Erosões do início ao meio do Mioceno de FFBs do Arqueano/Proterozoico produziram depósitos fluviais de ferro, que mais tarde formaram estes planaltos também por erosão. Análises moleculares de esquizomídeos (pseudoescorpíões) revelaram uma série de táxons endêmicos com áreas de distribuição geográfica pequenas; cada táxon específico

de um único planalto (Harvey *et al.* 2008). Inicialmente, uma proposta de mineração de doze bilhões de dólares australianos foi considerada ambientalmente inaceitável, com base nos impactos previstos sobre a fauna troglóbia. Mais tarde, porém, o empreendimento redesenhou o plano de mineração de acordo com a definição dos *habitats* de esquizomídeos (SMH 2007; Majer 2009; Piper 2009).

Muito menos trabalhos têm sido feitos com troglóbios em comparação à fauna de estigobiontes ao longo das últimas duas décadas, o que resulta em grande parte da metodologia de amostragem ser mais difícil (i.e., iscagem em poços artesianos por algumas semanas ou raspagem (Halse & Pearson 2014)). No entanto, um estudo molecular recente sobre esquizomídeos no Yilgarn e Pilbara mostrou uma forte estruturação geográfica nos táxons subterrâneos, consistente com o endemismo de área de distribuição geográfica pequena, como observado na fauna de estigobiontes (Harrison *et al.* 2014).

Um inventário regional recente com outros grupos de invertebrados no Pilbara mostrou padrões de composição consistentes com as mais importantes superfícies geológicas para aranhas (Durrant *et al.* 2010) e besouros que vivem no solo (Guthrie *et al.* 2010), com faunas distintas ocorrendo nas FFBs. Uma grande parte destas faunas ainda precisa ser descrita, e não há ainda estudos genéticos detalhados disponíveis para se desvendar os padrões filogenéticos.

Vertebrados

Enquanto não foi feito nenhum estudo regional recente sobre vertebrados que ocorrem nas FFB do Yilgarn, um trabalho considerável tem sido feito no Pilbara (McKenzie *et al.* 2009). O Pilbara é conhecido como uma área de alta biodiversidade e endemismo de répteis (How & Cowan 2006; Powney *et al.* 2010; Doughty *et al.* 2011), com muitas espécies endêmicas rupestres. Padrões de composição de espécies tanto para mamíferos como para répteis estão fortemente ligados à geologia da superfície, mas os padrões de composição de espécies não mostraram nenhuma assembleia exclusiva da FFB (Gibson & McKenzie 2009; Doughty *et al.* 2011). Isto contradiz os padrões em uma escala mais fina mostrados por várias espécies de répteis e complexos de espécies na região (Pepper *et al.* 2013; Maryan *et al.* 2014).

O Pilbara tem maior riqueza de espécies de lagartos da infraordem Gekkota do que qualquer outra área na Austrália (Powney *et al.* 2010) e a taxonomia deste grupo ainda precisa ser resolvida. Em um estudo filogenético sobre o lagarto *Lucasium stenodactylum*, Pepper *et al.* (2008) encontrou cinco clados principais, cuja distribuição batia perfeitamente com a geologia da superfície. Em um estudo expandido, que incluiu mais seis espécies codistribuídas, uma forte diferenciação genética na direção norte-sul através dos limites do cráton foi confirmada como uma importante subdivisão. Além disso, foi encontrada outra subdivisão dentro do Pilbara entre a Bacia de Hamersley (principalmente as FFBs do Maciço de Hamersley) e rochas vulcânicas e granitos do norte, refletindo os padrões de composição de espécies reportado para aranhas e besouros habitantes do solo (Durrant *et al.* 2010; Guthrie *et al.* 2010).

Estudos genéticos e morfológicos também identificaram uma linhagem do sul do grande lagarto varanídeo do Pilbara, a qual atualmente é considerada endêmica das FFBs (Maryan *et al.* 2014). Pepper *et al.* (2013) fizeram uma análise similar dos Gekkota para o complexo de ampla distribuição *Heteronotia spelea*, que ocorre nos maciços do Pilbara e da Austrália Central. Isto resultou em três táxons: um confinado às faixas centrais, um endêmico localizado no norte do Pilbara, e um terceiro táxon mais amplamente distribuído no Pilbara. Este terceiro táxon, no entanto, tem uma estrutura filogenética que reflete uma linhagem (de FFB) do sudeste e outras linhagens do sudoeste e nordeste.

Enquanto a fauna de répteis do Pilbara mostra clássicos exemplos de vicariância e diversificação ecológica através de uma paisagem antiga e heterogênea (Pepper *et al.* 2008, 2013), este pode não ser o caso de todos os grupos de vertebrados (Lanier *et al.* 2013).

Conectividade e dispersão

Formações Ferríferas Bandadas são topografias que, em muitos casos, se comportam como ilhas terrestres. Embora sejam *habitats* topograficamente menos conspícuos do que algumas ilhas terrestres, as FFB tipicamente variam consideravelmente em tamanho e grau de disjunção espacial. Isto as torna modelos ideais para investigar a importância da conectividade ou isolamento e processos evolutivos, como fluxo gênico, na formação da estrutura genética da população, divergência filogenética e especiação.

Muitos estudos até o momento têm-se concentrado em um pequeno número de espécies endêmicas da FFB, que estão sendo ou podem ser impactadas por operações de mineração. Os poucos estudos disponíveis têm enfatizado os variados níveis de conectividade e fluxo gênico, e a persistência da flora e fauna relacionada a *habitats* específicos. Um estudo genético de quatro táxons sem folhas de *Tetratheca* (Família: Elaeocarpaceae), que são amplamente restritos a imensos afloramentos das FFBs sobre quatro faixas adjacentes, encontrou profundas divisões filogenéticas entre os táxons. Parece que esta forma de vida evoluiu independentemente em pelo menos três ocasiões distintas, e que esta restrição a pequenos afloramentos de FFB disjuntos na mesma área geográfica é o resultado de especiação *in situ* após um longo período de isolamento (Butcher *et al.* 2007). Um estudo demográfico paralelo mostrou três táxons restritos a um tipo de *habitat* bastante específico, principalmente profundas fissuras na rocha capazes de manter umidade suficiente para garantir a sobrevivência através do longo verão seco, no qual a temperatura na superfície da rocha provavelmente excede 50°C. O estabelecimento bem sucedido destes táxons parece depender da ocorrência de chuvas tanto no inverno quanto no verão, uma sequência de eventos incomum neste ambiente. Consequentemente, a viabilidade das populações presentes é bastante dependente da manutenção de plantas adultas reprodutivas (Yates *et al.* 2011).

Outros estudos genéticos mais detalhados sobre espécies de plantas endêmicas da FFB mostraram uma estrutura genética significativa ao longo de pequenas distâncias, historicamente com fluxo gênico baixo no caso de *Tetratheca paynteri* subsp. *paynteri* (Butcher *et al.* 2009) e fluxo

gênico maior em *Acacia woodmaniorum* (Família: Fabaceae) (Millar *et al.* 2013; 2014). Em ambos os casos, pequenas populações isoladas mostraram um valor de conservação significativo, enquanto diferentes polinizadores e síndromes de polinização são provavelmente fatores-chave para entender os padrões de conectividade e fluxo gênico entre populações.

Em *Tetradlea paynteri* subsp. *paynteri*, uma espécie endêmica da FFB com uma distribuição total de cerca de 4 ha, descobriu-se que intervalos entre 80–120 m constituem efetivas barreiras para o fluxo gênico. A dispersão de pólen extremamente restrita (3 m no máximo) e o domínio do cruzamento com o vizinho mais próximo mantiveram a forte estruturação genética das populações através destas distâncias (Butcher *et al.* 2009). Abelhas nativas de quatro espécies de *Lasioglossum* foram observadas polinizando *T. paynterae* por vibração (*buzz-pollination*), e três destas espécies carregaram somente pólen de *Tetradlea* (Butcher *et al.* 2009). Parece que estes polinizadores limitam os seus movimentos a grupos de plantas locais e que eles são amplamente específicos a *Tetradlea paynteri* subsp. *paynteri* nesses rochedos de ferro. Historicamente, baixo fluxo gênico e longa persistência já foram reportados em plantas restritas a inselbergs na Austrália (Yates *et al.* 2007; Byrne & Hopper 2008; Tapper *et al.* 2014a, Tapper *et al.* 2014b) e outros locais (Sarhou *et al.* 2001; Pinheiro *et al.* 2014), indicando a natureza antiga e altamente isolada destes sistemas.

Por outro lado, uma análise com *Acacia woodmaniorum* mostrou que a conectividade genética foi mantida por fluxo gênico mediado por pólen ao longo de extensas distâncias de dispersão, através de uma gama de insetos polinizadores generalistas, incluindo formigas, mariposas, vespas, besouros e abelhas (Millar *et al.* 2014). Apesar da limitada distribuição de < 40 km² e do substancial fluxo gênico, foi detectada uma estrutura genética significativa em *A. woodmaniorum*. Enquanto houve fluxo gênico suficiente para manter uma “conectividade adaptativa”, houve uma diferenciação significativa através de diferentes maciços de topo e entre diferentes populações no mesmo maciço (Millar *et al.* 2013). Uma relação quadrática entre diferenciação gênica e distância geográfica sugeriu que a limitação ao fluxo gênico ocorreu há cerca de 740 m (Millar *et al.* 2013). Um fluxo gênico significativo e altos níveis de exogamia são características importantes para a persistência e conservação desta espécie em uma série de populações disjuntas grandes e pequenas ao longo de uma faixa geográfica estreita. Enquanto este sistema populacional permanecer intacto, é provável que esta espécie persista, mesmo que em populações pequenas, a longo prazo (Millar *et al.* 2013).

Diversos estudos filogenéticos e filogeográficos têm sido feitos sobre invertebrados e vertebrados endêmicos da FFB da Austrália Ocidental, e eles mostram divisões filogenéticas profundas e antigas entre grupos populacionais dentro das espécies definidas atualmente (veja a próxima seção). No entanto, apenas um estudo até hoje combinou investigações filogeográficas com uma estrutura genética em uma escala mais fina dentro de uma espécie. O milípede *Atelomastix bamfordii* é restrito às mesmas cinco faixas adjacentes da FFB (Nistelberger *et al.* 2014) onde as diferentes espécies de *Tetradlea* sem folhas ocorrem (Butcher *et al.* 2007). Um estudo genético sobre o milípede através destas faixas revelou uma forte estruturação filogeográfica com base no DNA mitocondrial e forte diferenciação com base em microssatélites nucleares, além

da falta de correlação entre divergência genética e distância geográfica. Isto sugere que houve pouco ou nenhum contato entre as populações após a sua separação, enfatizando o papel da deriva genética na diferenciação populacional (Nistelberger *et al.* 2014).

Padrões e processos evolutivos

Os padrões florísticos observados nas FFBs do Pilbara e Yilgarn são surpreendentemente semelhantes, apesar de os climas serem altamente contrastantes e as paisagens terem poucos táxons em comum. Ambos os crátons são dominados por floras de zonas áridas com famílias dominantes muito semelhantes (as diferenças mais importantes são que as Malvaceae são mais comuns no Pilbara e as Chenopodiaceae são mais comuns no Yilgarn), e formas de vida perenes tornaram-se mais dominantes no Pilbara.

A análise da diversidade beta em espécies de plantas perenes sugeriu que, embora a taxa de substituição de espécies seja alta, é mais baixa no Pilbara que no Yilgarn. Isto pode estar relacionado simplesmente à amostragem mais restrita a áreas de topo no Pilbara, em vez de incluírem toda a sequência catenária dos maciços, como foi feito no Yilgarn. Similarmente, a falta de sucesso na modelagem de riqueza e composição de espécies no Pilbara pode estar relacionada à amostragem, mas também pode refletir estimativas climáticas piores (devido à falta de estações climáticas) e a natureza mais contígua das FFBs no Pilbara.

Os padrões de riqueza de plantas especialistas da FFB no Pilbara são em grande parte causados pela altitude, mas este fator não foi identificado como importante nos maciços mais moderados do Yilgarn. A razão para o número muito mais alto de especialistas encontrado no Pilbara (66 vs. 44 no Yilgarn) pode ser devido a uma área de FFB muito maior, embora a proporção de espécies endêmicas da FFB seja menor (30.3% no Pilbara vs. 58.3% no Yilgarn). A alta taxa de substituição de espécies registrada nas FFB no Yilgarn, e agora no Pilbara, devem refletir em parte a idade destas paisagens.

Estudos filogenéticos sobre a fauna e flora também sugerem que o padrão de diversidade visto nas FFBs, e mais generalizadamente através da zona árida australiana, está intimamente ligado a sua antiga idade geológica, ao longo da qual esta paisagem evoluiu, e às vicissitudes pelas quais passou (Byrne *et al.* 2008). A aridificação da Austrália começou no meio do Mioceno (15 Ma) quando um ambiente de floresta tropical quente começou a secar, com um período de aumento de aridez e instabilidade regional com intensa erosão através da paisagem durante o final do Mioceno (10-6 Ma). Condições métricas mais quentes retornaram no início do Plioceno (6-2.5 Ma). Então, houve uma progressiva expansão da zona árida e formação dos desertos rochosos há cerca de 4-2 Ma (Fujioka *et al.* 2005). Oscilações climáticas consistentes com os ciclos glaciais começaram durante o Plioceno, mas foram acentuadas a partir do meio do Pleistoceno (~1Ma), com a formação dos sistemas de dunas móveis há cerca de 1 Ma, quando os ciclos climáticos aumentaram em amplitude de 40 para 100 mil anos (Byrne *et al.* 2008; Fujioka *et al.* 2009). Hipotetiza-se que as FFBs do Yilgarn, Pilbara e os maciços de Kimberley e da Austrália

Central podem ter proporcionado refúgio méxico para a biota diante do aumento da aridez (Byrne *et al.* 2008), e a formação de vastos sistemas de dunas do interior da Austrália deve ter aumentado o isolamento destas áreas. Estas FFBs têm funcionado como ilhas terrestres e o isolamento a longo prazo tem levado à divergência filogenética mesmo entre FFBs geograficamente próximas, e também dentro de estruturas de FFBs através de cavidades naturais, que funcionalmente podem ser consideradas ilhas subterrâneas (veja Harrison *et al.* 2014).

Pouca informação filogenética está disponível sobre espécies de plantas endêmicas da FFBs ou sobre espécies intimamente associadas às FFBs. Estudos morfológicos e filogenéticos sobre táxons de *Tetratheca* sugerem que a diversificação ocorreu com a aridificação no Mioceno (6-7 Ma), com a evolução independente de linhagens separadas dentre as espécies endêmicas sem folhas da FFB em faixas adjacentes (Crayn *et al.* 2006, Butcher *et al.* 2007). Apesar de não ser uma espécie especialista da FFB, estudos de reconstrução filogenética e paleodistribuição dos táxons do complexo *Callitris columellaris* indicam que múltiplas linhagens evoluíram nos planaltos regionais, como as FFBs do Yilgarn e do Pilbara. Acredita-se que este complexo de espécies de *Callitris* tenha persistido em antigos refúgios ao longo de múltiplos ciclos climáticos durante o final do Pleistoceno (Sakaguchi *et al.* 2014). Padrões filogenéticos similares são provavelmente encontrados em vários táxons e gêneros com distribuição amplamente disjunta, por exemplo entre o Pilbara e os Maciços Centrais (*Hibbertia glaberrima*, Dilleniaceae; *Eucalyptus lucens* (Myrtaceae), o Pilbara e o sul da Austrália (*Eucalyptus ewartiana*) e o Pilbara e o norte e/ou leste da Austrália (*Astrotricha*, Araliaceae; *Pleurocarpaea*, Asteraceae; *Maytenus* Celastraceae).

Mais dados filogenéticos estão disponíveis para a fauna e também apontam para uma contínua evolução que se iniciou durante a aridificação do Mioceno, com padrões temporais sobrepostos relacionados ao isolamento e à persistência. Uma análise filogenética de esquizomídeos troglóbios mostrou múltiplos clados subterrâneos aninhados com linhagens da superfície, mostrando que provavelmente houve múltiplas invasões de cavidades subterrâneas por ancestrais da superfície, que persistiram nestes locais, e sugerindo também uma dependência de múltiplos refúgios localizados através de diversos ciclos glaciais (Harrison *et al.* 2014). Padrões semelhantes foram relatados para a fauna estigobionte, cuja radiação acredita-se ter ocorrido entre 3-9 Ma nos besouros mergulhadores (Leys *et al.* 2008) e entre 4.1-13.4 Ma nos anfípodas (Cooper *et al.* 2007). Padrões de divergência mais recentes são evidentes no milípede *Atelomastix bamfordii*, com a persistência e o isolamento na FFB resultando em significativa divergência genética entre populações estimada em torno de 0,7 – 1,1 Ma no Pleistoceno (Nistelberger *et al.* 2014). Novamente estas descobertas são consistentes com o conhecido aumento da aridez ocorrido naquela época (Byrne *et al.* 2008).

Padrões mais complexos estão evidentes no lagarto *Lucasium stenodactylum*. A divisão inicial entre as linhagens Pilbara e não-Pilbara são datadas de 16-27 Ma, no início do Mioceno. As linhagens atuais do Pilbara são mais jovens (3-4.5 Ma) e têm preferências por diferentes substratos. Idades intraclados são estimadas em 0,8-2,4 Ma e batem com o aumento da aridez que levou à formação de lençóis de areia móveis, mostrando também isolamento por distância a escalas de < 90 km (Pepper *et al.* 2008). Outros Gekkota mostram o *imprinting* genômico da

mudança climática do Terciário, com linhagens divergentes também intimamente correlacionadas com características geológicas e topográficas, tanto em grande escala geográfica como também em pequena escala dentro da FFB. O lagarto *Heteronotia* mostra uma separação Kimberley versus Pilbara – Maciços Centrais australianos de cerca de 4,2 Ma, seguida por uma separação entre os Maciços Centrais e o Pilbara em 2,9 Ma (e talvez mais antiga), precedendo a formação do sistema de dunas de areia (Pepper *et al.* 2011). Em geral, os padrões do complexo evolutivo e a alta diversidade dos táxons de Gekkota no Pilbara sugerem que as FFBs do Pilbara e planaltos associados foram importantes locais para a persistência destes grupos durante o Plioceno e o Pleistoceno (Byrne *et al.*, 2008; Pepper *et al.*, 2008, 2011; Oliver e Bauer 2011), com divergências evolutivas causadas também por processos vicariantes associados a diferenças regionais de *habitats* (Pepper *et al.* 2013).

Outros grupos de répteis, como os lagartos das famílias Scincidae (Rabosky *et al.*, 2007) e Agamidae (Hugall *et al.*, 2008) e as serpentes da família Typhlopidae (Marin *et al.* 2013) mostram padrões semelhantes aos Gekkota, com estudos filogenéticos descobrindo que a diversificação foi concomitante com a expansão de ambientes abertos e áridos desde o Mioceno, com múltiplas invasões (< 10 Ma) da zona árida seguida por radiação recente (< 5 Ma). Em todos estes casos, planaltos rochosos como a FFB do Pilbara funcionaram como ilhas terrestres com estabilidade climática, permitindo a persistência e facilitando a diversificação e divergência *in situ* entre linhagens mesmo através de distâncias relativamente curtas.

Estes padrões de profundas divisões filogenéticas, distribuições fragmentadas, alta diversidade beta e histórico baixo fluxo gênico identificados no Pilbara e Yilgarn também podem ser encontrados na flora altamente diversa do sudoeste da Austrália, e provavelmente resultaram da natureza antiga destas paisagens e de sua evolução através de milhões de anos de mudanças climáticas, que não foi experimentada pela biota das paisagens jovens no hemisfério norte (Coates 2000; Hopper 2009). O *imprinting* genômico de ciclos climáticos históricos está evidente em muitos táxons do sudoeste (Byrne 2008), incluindo endemismos comuns e raros de afloramentos graníticos que teriam atuado como refúgios localizados do Pleistoceno similares às FFBs (Byrne e Hopper 2008; Tapper *et al.* 2014a, 2014b). A evolução da flora e fauna da FFB, embora restrita pela geologia, foi resultado tanto de um longo estresse ambiental como de processos estocásticos que não ficaram restritos a estes sistemas (Yates & Ladd 2010; Hopper 2009).

Mineração

A mina mais antiga na Austrália, que precede o estabelecimento europeu, ocorre na FFB do Yilgarn. No Maciço de Weld, em Wilgie Mia, ocre vermelho e amarelo foi minerado em grandes quantidades pelo povo aborígine, talvez por vários milênios. Davidson (1952) acredita que a maior parte do ocre vermelho usado nos desertos do oeste veio desta mina, que era relativamente grande (50–100 pés de largura e 65 pés de profundidade), e foi laboriosamente escavada com uma tecnologia muito simples, com muitos túneis seguindo os veios de ocre. Este pigmento era tido

em muito valorizado tanto para propósitos cerimoniais como para o uso em locais de arte rupestre. Ellis (1982) considerou que o depósito se formou do desgaste de uma grande lente de jaspilito. O local foi minerado por europeus entre 1945 e 1978, e hoje é protegido em uma reserva legalmente estabelecida e representada na Lista do Patrimônio Nacional.

Em tempos mais recentes, a demanda mundial por minério de ferro passou por um imenso aumento devido à demanda da China, sendo o Brasil, China e Austrália os mais importantes produtores. A produção australiana de minério de ferro é centralizada em grandes minas da FFB a céu aberto no Pilbara. Em 2012, a Austrália produziu 520 Mt de minério, das quais 94% vieram da Austrália Ocidental, sendo a maior parte vinda do Pilbara (92%) (Armitage 2013; Department of Mines & Petroleum 2013). A maior parte do minério produzido atualmente é hematita, embora a exploração maciça de recursos de magnetita tenha apenas começado, devido a serem muito maiores os custos de processamento. A mineração no Pilbara e Yilgarn é muito diferente em termos de escala, sendo os depósitos no Yilgarn pequenos e espalhados (até 25 Mt), comparados a minas muito maiores (até 1.8 Gt) no Pilbara (Government of Western Australia 2007, Morris & Keenshaw 2011). As operações do Pilbara têm economias de escala muito maiores comparadas ao Yilgarn (Tabela 2, Figura 11).

Tabela 2 - Estatísticas de mineração para a produção de minério em 2012 na Austrália Ocidental. A maior parte da produção do minério de ferro é centralizada em grandes minas a céu aberto no Pilbara. Os números do emprego se referem ao emprego direto por empresas mineradoras (Department of Mines & Petroleum 2013).

	Minas	Produção (Mt)	Produção (%)	\$AU (milhão)	Emprego
Kimberley	3	5,7	1,2	607	917
Yilgarn	8	17,3	3,6	1.851	2.366
Pilbara	28	453,2	95,2	48.563	26.730
Total	39	476,2	100	51.021	30.013

Na Austrália, os direitos de mineração pertencem à Coroa e quase toda a geologia da FFB no Pilbara e Yilgarn está sob arrendamentos de exploração expedidos pelo Departamento de Minas e Petróleo da Austrália Ocidental. Quando uma empresa provou o valor de um recurso e deseja candidatar-se a um contrato de arrendamento de mineração, submete uma Proposta de Mineração ao Departamento de Minas e Petróleo, que avalia o requerimento para o encaminhamento à análise ambiental baseado em um teste de significância sobre a natureza, escala e duração do impacto, importância do ambiente, disponibilidade de processos alternativos para gerenciar os impactos e grau de interesse público. Propostas que são consideradas ambientalmente significativas de acordo com estas diretrizes são encaminhadas à Autoridade de Proteção Ambiental (em inglês, Environmental Protection Authority -EPA) para a avaliação dos impactos. O Gabinete da Autoridade de Proteção Ambiental então estabelece um nível de avaliação para o projeto, baseado na importância de impactos potenciais. Para grandes propostas

de desenvolvimento, o nível de avaliação é normalmente estabelecido através de uma avaliação abrangente conhecida como Revisão Ambiental Pública (em inglês Public Environmental Review - PER). Em consulta com a empresa, é desenvolvido um documento de especificação da proposta para uma análise de impacto ambiental, que é realizado nos termos da Parte IV da Lei de Proteção Ambiental de 1986, de acordo com um conjunto de procedimentos publicados (Environmental Impact Assessment [Part IV Division 1 and 2] Administrative Procedures 2012). Estes procedimentos incluem requisitos para consultar acionistas, fornecer informação suficiente para permitir a inclusão de observações fundamentadas, avaliar opções e alternativas, identificar fatores ambientais que possivelmente serão impactados, identificar os melhores métodos práticos para evitar, quando possível, ou pelo menos minimizar, retificar, reduzir, monitorar e gerenciar os impactos da proposta.

Quando a Revisão Ambiental Pública é finalizada, ela é aberta a audiências públicas por geralmente 4 semanas, durante as quais o público em geral e outras agências governamentais podem fazer apresentações à Autoridade de Proteção Ambiental. A Autoridade de Proteção Ambiental é uma autoridade independente indicada pelo governo para fornecer conselhos sobre uma série de assuntos ambientais. Ao final do período de audiências públicas, a Autoridade de Proteção Ambiental prepara um relatório público e apresenta suas recomendações ao Ministro do Meio Ambiente. Este relatório e as recomendações são, então, abertas a apelo público, e o resultado deste processo é determinado pelo Ministro do Meio Ambiente. O Ministro do Meio Ambiente avalia o relatório da Autoridade de Proteção Ambiental e quaisquer apelos, e determina, em consulta com outros ministros, se a proposta deve ser autorizada a prosseguir e, caso seja, sob quais condições.

As condições impostas ao empreendimento geralmente incluem a abordagem de questões como: proposta de implementação, limite de tempo para a implementação da proposta, relatórios de conformidade e disponibilidade pública de informações pós-avaliação, além de qualquer comprometimento de gerenciamento ambiental feito na Proposta de Mineração. Também podem-se aplicar condições de implementação específicas para a proposta. Geralmente estas condições de implementação são baseadas nos resultados da avaliação e podem incluir provisões para “compensações”, para enfrentar quaisquer efeitos residuais significativos, a fim de atingir “nenhuma perda líquida” de biodiversidade (EPA 2013). Condições de compensação só são impostas depois que as oportunidades de mitigação com classificação mais alta na hierarquia (prevenir/evitar; minimizar/reduzir; resgatar/relocar; reparar/restaurar) forem consideradas insatisfatórias para reduzir os impactos ambientais residuais em conformidade com a política de compensação da Autoridade de Proteção Ambiental.

Projetos de pequena escala, que provavelmente não apresentam um significativo impacto ambiental, não são avaliados pela Autoridade de Proteção Ambiental, mas podem ser avaliados através das condições da *Lei de Mineração* de 1978 e da Parte V, Divisão 2 da *Lei de Proteção Ambiental de 1986* que relata sobre Desmatamento de Vegetação Nativa. A agência ambiental do Governo Federal também pode-se envolver se a proposta tiver um provável impacto em uma Questão de Importância Ambiental Nacional (em inglês Matter of National Environmental

Significance - MNES) como foi definido pela *Lei de Proteção Ambiental e Conservação da Biodiversidade de 1999*.

Apesar de as empresas gastarem consideráveis recursos, desenvolvendo um parecer detalhado dos impactos do seu empreendimento sobre a flora e fauna das áreas nas quais estão trabalhando, frequentemente falta a compreensão de padrões em uma escala maior na biota, geralmente devido à informação biológica inadequada nessas áreas, tornando difícil aplicar o conhecimento novo em um contexto regional. A fim de proporcionar este contexto regional, os governos da Austrália Ocidental e Federal, em colaboração com algumas das mais importantes empresas de mineração, financiaram vários levantamentos regionais, tanto através de uma gama de diferentes grupos de plantas e animais (McKenzie *et al.* 2009) como concentrados em um específico grupo biótico (Gibson *et al.* 2012). Na falta deste nível regional de informação, têm havido casos em que a avaliação das propostas de desenvolvimento têm sido atrasadas para que estudos biológicos adicionais sejam feitos (SMH 2007; Majer 2009; Piper 2009).

Questões de Conservação

Revisões recentes enfatizam mudanças na biota do Pilbara devido ao uso pastoril, mudanças nas práticas de queimada aborígenes e mineração ao longo dos últimos 150 anos (Woinarski *et al.* 2000; McKenzie *et al.* 2009). Durante este período, alterações fundamentais ocorreram nos padrões de vegetação, sobretudo nos solos aluviais mais ricos e nas assembleias de fauna, em grande parte como resultado do pastoreio excessivo, de incêndios muito frequentes e da introdução de animais ferais e plantas exóticas. Cerca de 15% da mastofauna está extinta atualmente, e preocupantes ervas daninhas, como o capim *Cenchrus ciliaris*, continuam a se alastrar e representam uma séria ameaça à biota nativa. Embora a pecuária não se tenha espalhado em áreas onde as FFB são prevalentes no Yilgarn, o colapso na mastofauna tornou-se comum através da zona árida (McKenzie *et al.* 2007).

Apesar da dimensão do setor de mineração ser pequena, comparada a outros setores como a pecuária, a complexidade da flora e fauna desta paisagem antiga, com táxons endêmicos e crípticos de distribuição geográfica pequena, e táxons com uma diferenciação genética significativa ao longo de curtas distâncias geográficas, juntamente com a alta diversidade beta da flora como um todo, inevitavelmente resulta em difíceis decisões sobre o uso da terra. Áreas de geologia incomuns podem, naturalmente, abrigar biotas incomuns. As profundas divisões genéticas vistas tanto na fauna quanto na flora, através de curtas distâncias geográficas, sugerem que espécie pode não ser a mais apropriada unidade de biodiversidade para acessar impactos potenciais de propostas de mineração. Grupos de populações que representam linhagem evolutivas discretas, e até mesmo populações geneticamente divergentes, podem ser unidades mais apropriadas para a conservação (*cf.* Moritz 1994; Coates, 2000).

No Yilgarn, foram feitas tentativas de atingir um entendimento estratégico das áreas de mais alto valor de conservação (Government of Western Australia 2007) a fim de indicá-las para

a conservação. A EPA (2013) mostrou grande preocupação sobre os impactos cumulativos dos desenvolvimentos nas FFB do Yilgarn, no sentido de alcançar um equilíbrio entre a conservação e o desenvolvimento, e mencionou que nenhum maciço da FFB está protegido em reservas de conservação seguras (classe 'A' ou Parque Nacional) no Yilgarn.

A condição de reserva da FFB no Pilbara é significativamente melhor que no Yilgarn, já que o Parque Nacional Karijini (627.422 ha) cobre um extenso segmento do Maciço de Hamersley, incorporando a escarpa norte, os planaltos e vários sistemas de desfiladeiros, e cobre uma gama significativa de tipos de vegetação (Figura 4, 7a&b). Embora este parque forneça proteção a diversos tipos de vegetação, não representa toda a FFB do Pilbara, devido à alta taxa de substituição de espécies através desta paisagem.

A grande escala das minas a céu aberto no Pilbara, os solos antigos depauperados e o clima árido fazem da restauração um assunto importante. Estima-se que 1.200 km² tenham sido minerados nos últimos 20 anos e precisarão ser restaurados (EPA 2013). Nas suas diretrizes de avaliação, a Autoridade de Proteção Ambiental (EPA) mencionou que a melhor prática de restauração frequentemente restaura uma proporção baixa dos valores da biodiversidade que existia antes da mineração, e para conseguir melhores resultados de restauração ao longo da Austrália Ocidental, serão necessários investimentos em pesquisa e desenvolvimento de tecnologia.

No Yilgarn, apenas um sistema da FFB está em um Parque de Conservação (Classe C), e vários outros estão em antigos arrendamentos pastoris adquiridos pelo Departamento de Parques e Vida Silvestre e gerenciados para conservação; no entanto, estes arrendamentos não excluem mineração. Dado o atual arrendamento da terra e a alta diversidade beta destas faixas, Gibson *et al.* (2012) sugeriram que a prioridade da gestão da conservação deva ser baseada nos padrões de espécies especialistas da FFB que destacam áreas onde importantes processos evolutivos se manifestam. Infelizmente, estas são as mesmas áreas identificadas com o maior potencial para mineração.

No Pilbara, a área de grande coocorrência de especialistas da FFB está parcialmente coberta pelo Parque Nacional Karijini, que garante proteção parcial desta área (Figura 3). Foi feito um progresso significativo através do estabelecimento de prioridades de gestão na escala da paisagem para a flora e fauna ameaçadas no Pilbara, embora sua completa implementação vá demandar recursos substanciais (Carwardine *et al.* 2014). No entanto, projetos de gestão na escala da paisagem já começaram (por exemplo, os Corredores do Pilbara) e as condições recentes para compensar impactos do desenvolvimento de novas minas estão permitindo uma abordagem mais estratégica para tratar de certos processos que ameaçam algumas áreas. Além disso, a articulação dos valores de biodiversidade nas FFB do Pilbara deve ficar mais evidente através de uma avaliação estratégica dos impactos ambientais cumulativos de um plano de 50 anos para a mineração do minério de ferro no Pilbara, que está sendo preparada pela empresa BHP Billiton Iron Ore.

Além dos processos na escala da paisagem descritos acima, há também uma preocupação significativa em relação à probabilidade de uma translocação bem sucedida, ou reintrodução, após a mineração, de algumas espécies endêmicas da FFB, cujo *habitat* primário é um imenso afloramento da FFB. As mudanças no formato da paisagem incorridas após a mineração tornam

altamente improvável que estas espécies endêmicas possam ser reintroduzidas, dados os seus requisitos muito específicos de *habitat* e seus padrões demográficos (Yates *et al.* 2011).

Embora o Governo tenha financiado inventários biológicos regionais (McKenzie *et al.* 2009; Gibson *et al.* 2012), os inventários locais detalhados feitos por proponentes e estudos genéticos associados podem fornecer os dados biológicos necessários para tomar decisões fundamentadas sobre o uso da terra. No entanto, encontrar um equilíbrio entre os interesses do desenvolvimento e da conservação será um desafio nessas paisagens antigas, dada a longa história evolutiva que elas abrigam.

Agradecimentos

Este artigo é dedicado à Kieran McNamara (1954-2013), que foi diretor geral do Departamento de Meio Ambiente e Conservação e dedicou sua vida à conservação da Austrália Ocidental; sob a sua administração foram feitos os levantamentos das FFBs de Yilgarn e Pilbara. Somos gratos à Margaret Byrne por suas críticas construtivas a uma versão anterior deste artigo. Imagens adicionais foram fornecidas por J. McRae, Bennnelongia Consultores Ambientais; S. Grein, Fortescue Metals Group; A. Markey, S. Dillon, and K. Thiele, Departamento de Parques e Vida Silvestre.

INTERAÇÕES ECOLÓGICAS EM AMBIENTES DE CANGA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS

Claudia M. Jacobi, Fabiana A. Mourão, Yasmine Antonini, Roberth Fagundes & Alice F. Kumagai

O que sabemos sobre as interações ecológicas em ambientes de canga?

Talvez devido à grande diversidade vegetal, e ao componente arbóreo pouco representativo, a maioria dos estudos sobre interações ecológicas em ambientes de canga centra-se nas relações entre plantas arbustivas e seus insetos visitantes. Entretanto, diferentemente do conhecimento atual sobre a diversidade florística, as interações ecológicas são ainda mal conhecidas em campos rupestres ferruginosos, como é o caso do Quadrilátero Ferrífero (QF). Esta lacuna constitui um grande problema devido à importância desse ecossistema como mantenedor de grande número de espécies endêmicas e frente à velocidade com que as cangas estão sendo destruídas pela crescente demanda por minério de ferro (Jacobi & Carmo 2008, 2011).

De modo geral, os estudos sobre interações ecológicas no QF são relativamente recentes e têm focalizado informações sobre a relação entre plantas e seus visitantes florais (e.g. Borba & Semir 2001, Antonini *et al.* 2005, Jacobi & Antonini 2008, Loyola *et al.* 2007), insetos herbívoros (de adultos e formas juvenis de vida livre, até minadores e galhadores) e também formigas que defendem as plantas contra estes herbívoros (e.g. Vincent *et al.* 2002, Lanza *et al.* 2005, Dáttilo *et al.* 2014).

Diferentemente dos levantamentos florísticos, com registros amplamente distribuídos nas principais serras do QF, trabalhos focalizando interações foram realizados principalmente no Parque Estadual da Serra do Rola Moça (PESRM) em Belo Horizonte, Parque Estadual do Itacolomi (PEIT) em Mariana, Serra da Brígida em Ouro Preto, no Campus da Universidade Federal de Ouro Preto, e em Barão de Cocais. Estes estudos foram desenvolvidos principalmente nos campos ferruginosos sobre canga, seja do tipo nodular (mais intemperizada) ou couraçada (predominância de afloramentos rochosos).

A compilação de resultados dos quase 40 estudos que contemplaram diferentes aspectos das interações ecológicas em cangas do QF foi sintetizada na forma de rede bipartida (Fig. 1). As linhas indicam o vínculo entre local de estudo e tipo de interação, e sua espessura, a quantidade relativa de estudos para esse par. O PESRM aparece como o principal local de estudos sobre interações no QF, por isso ele se encontra no topo do gráfico. Este parque é uma das raras Unidades de Conservação de Proteção Integral que atualmente tem como prioridade proteger os ecossistemas de campos ferruginosos. O mutualismo (principalmente polinização) e o parasitismo são as principais interações abordadas, mas apenas o mutualismo foi investigado em todos os locais.

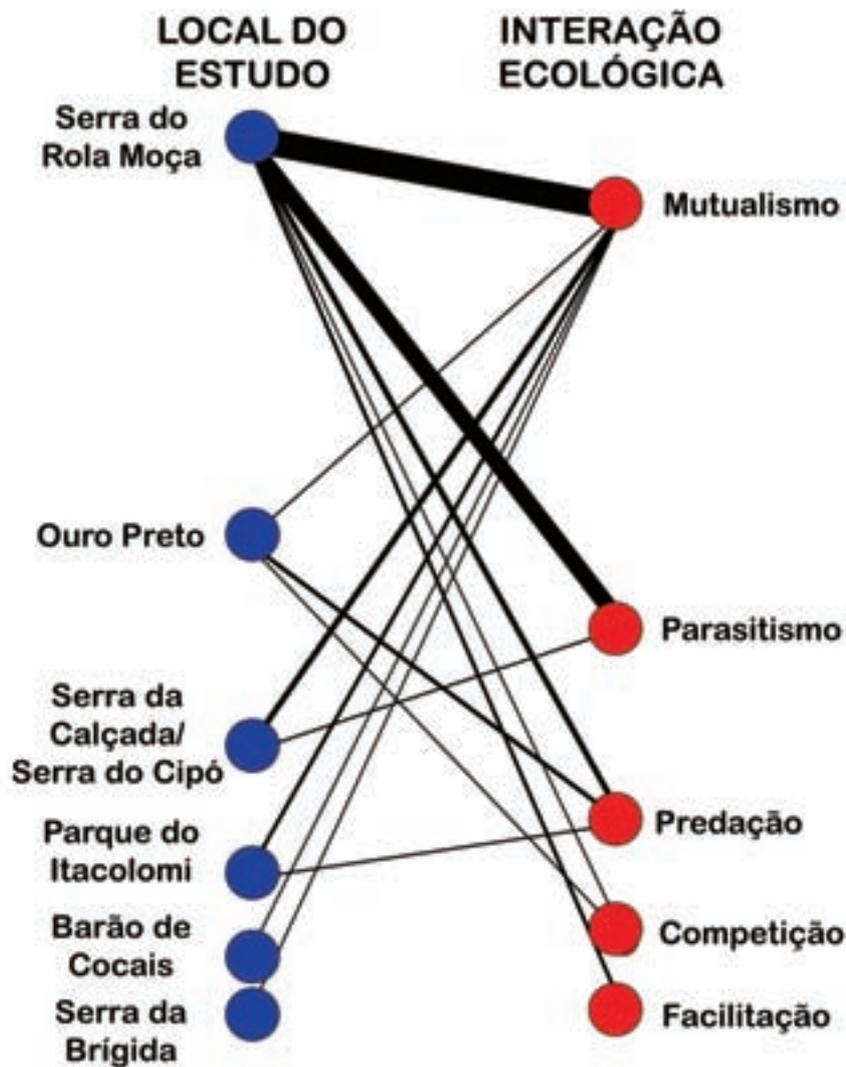


Figura 1 – Diagrama da distribuição dos estudos sobre interações ecológicas (círculos vermelhos) realizados em diferentes áreas de canga ferruginosa do Quadrilátero Ferrífero (círculos azuis). As linhas indicam o vínculo entre a área estudada e o tipo de interação, enquanto que a espessura da linha indica a quantidade relativa de estudos feitos em cada área.

Algumas espécies de plantas são particularmente importantes nos campos rupestres sobre canga por representarem componentes integradores da rede de interações tróficas, ou seja, interagem com diversas espécies de muitos níveis tróficos. Entre essas plantas destaca-se o arbusto *Stachytarpheta glabra* (Verbenaceae). Pela abundância de indivíduos e flores, e pela florada prolongada (Jacobi & Antonini 2003), é uma importante fonte de recursos para beija-flores e insetos nectarívoros (Antonini & Jacobi 1999, Jacobi & Antonini 2000), mas suas folhas e inflorescências também são alvo de diversos insetos herbívoros (Diniz 2003). De fato, analisando os diversos estudos publicados sobre *S. glabra*, verificamos que mais de 100 espécies animais dependem em

maior ou menor grau dessa planta. Essas espécies usam a planta diretamente (como herbívoros e mutualistas) ou indiretamente (como predadores). Outra planta bastante estudada (e.g. Mourão *et al.* 2006, 2009) é a hemiparasita *Struthanthus flexicaulis* (Loranthaceae), considerada uma parasita generalista, pois ataca muitas espécies de plantas nos campos ferruginosos. Por depender de aves que comem seus frutos para dispersar suas sementes, plantas desta família são conhecidas como ervas-de-passarinho. Na Figura 2, observa-se que a maioria dos estudos das interações (círculos vermelhos) concentrou-se somente nestas duas plantas (círculos verdes). O mutualismo, representado basicamente pela relação planta-polinizador, foi a interação pesquisada mais frequentemente no resto das plantas.

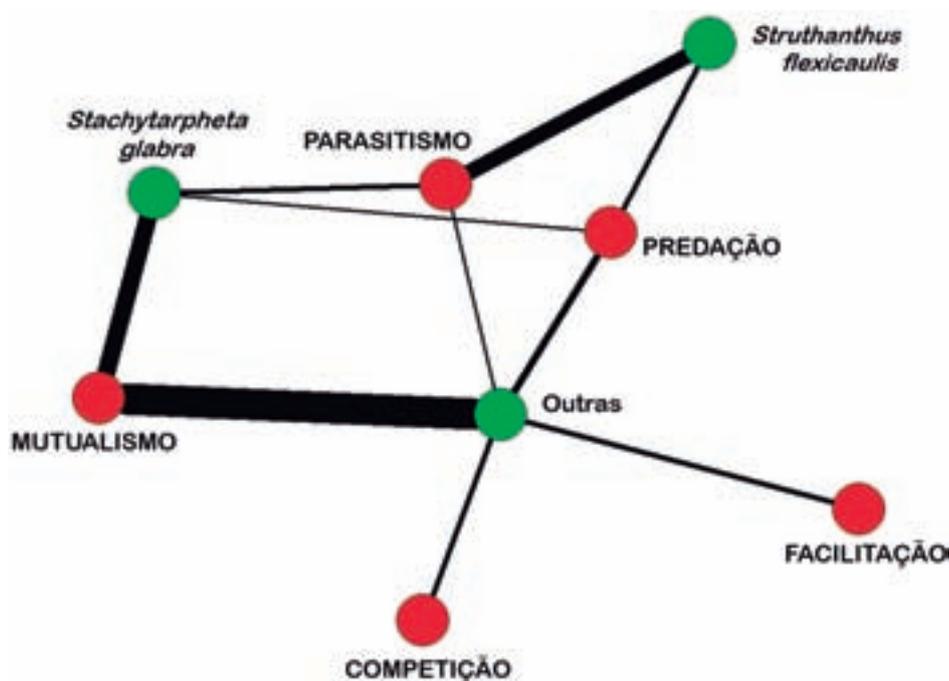


Figura 2 – Diagrama comparativo da quantidade de estudos sobre os principais tipos de interações ecológicas (círculos verdes) entre as duas espécies de planta comumente estudadas: *Stachytarpheta glabra* e *Struthanthus flexicaulis*. As linhas indicam o vínculo entre as espécies e o tipo de interação estudada, e sua espessura, a quantidade relativa de estudos publicados.

As flores de *Stachytarpheta glabra* são visitadas por beija-flores, mais de 50 espécies de abelhas, mariposas diurnas e diversas espécies de borboletas, principalmente Hesperíidae (e.g. *Conga urqua*, *Nyctelius nyctelius*, *Urbanus dorantes*). A lista de polinizadores, no entanto, é bem menor. Ela é polinizada principalmente por duas espécies de beija-flor (*Colibri serrirrostris* e *Chlorostilbon lucidus*), a mariposa-colibri *Aellopus titan* (Sphingidae) e provavelmente por abelhas de língua longa da tribo Euglossina. A fauna de abelhas e lepidópteros que visitam flores de *S. glabra* e o seu comportamento foram estudados de forma muito semelhante por Jacobi & Antonini (2000) no PESRM e por Antonini *et al.* (2005) no Campus da UFOP, em Ouro Preto. Embora

ambos os estudos tenham sido desenvolvidos no mesmo ecossistema de canga, a fauna de visitantes florais mostrou-se bastante distinta, e poucas espécies de borboletas e abelhas foram comuns a ambos os locais (Fig. 3). Estes resultados corroboram que as cangas do QF, além de abrigarem uma variedade de microambientes (Jacobi *et al.* 2007), são regionalmente distintas não somente na sua composição florística. A grande quantidade de montanhas em Minas Gerais cria muitas barreiras de dispersão para a fauna, tornando única cada mancha de vegetação na paisagem.

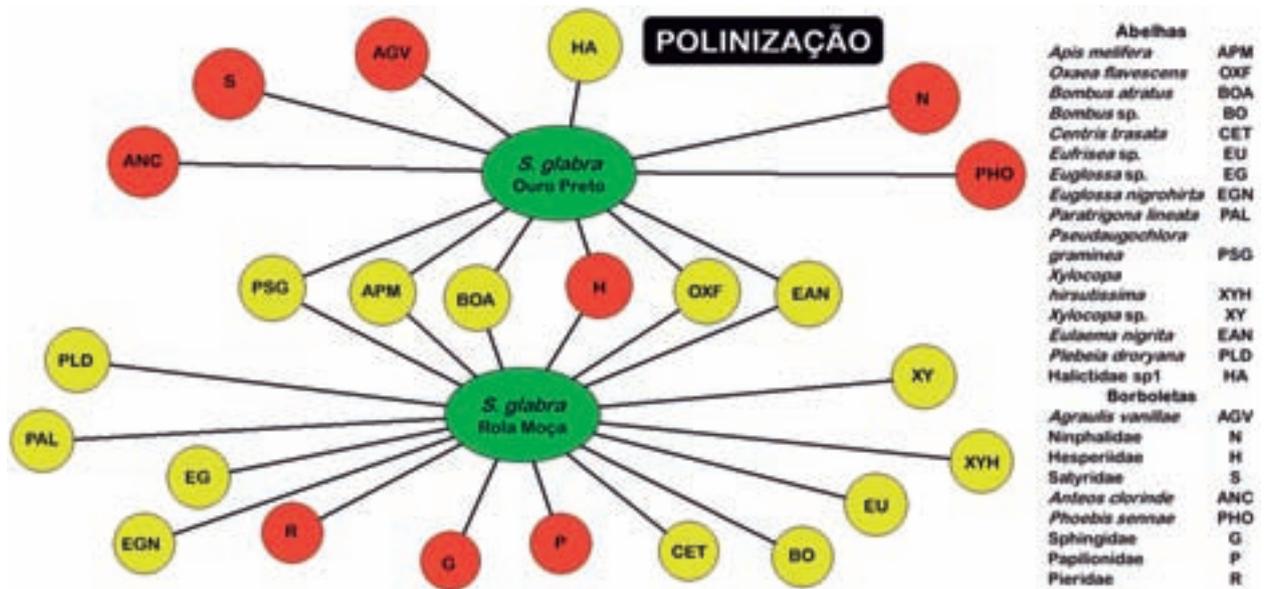


Figura 3 – Comparação entre interações de polinização (linhas) em áreas de canga ferruginosa em Ouro Preto e na Serra do Rola Moça. Estão representadas as abelhas (círculos amarelos) e borboletas (círculos laranja) que polinizam a planta *Stachytarpheta glabra* (círculos verdes). Note, ao centro, as espécies polinizadoras observadas em ambas as populações, e na periferia, as espécies exclusivamente observadas em cada área.

Outra interação mutualística estudada para o sistema baseado em *S. glabra* foi a associação entre esta espécie e formigas. A planta possui a superfície de suas folhas cobertas de nectários extraflorais (Fig. 4). Diferentemente dos nectários florais que atraem polinizadores, esses nectários produzem néctar para atrair formigas. As formigas fornecem proteção à planta contra seus herbívoros, reduzindo a área foliar perdida e permitindo a produção de mais flores, frutos e sementes. Pimentel *et al.* (2012) mostraram que essa interação intensifica-se quando os herbívoros são mais frequentes. Existem pelo menos 15 espécies de formigas que coletam néctar extrafloral de *S. glabra*, e diferentes espécies estão em atividade nos períodos diurno e noturno (Dáttilo *et al.* 2014). Vale citar que as constantes perturbações antrópicas de ambientes de canga em Ouro Preto estão reduzindo o número de formigas defensoras, o que parece ter aumentado a taxa de herbivoria sofrida pela planta (Barbosa *et al.* 2015).

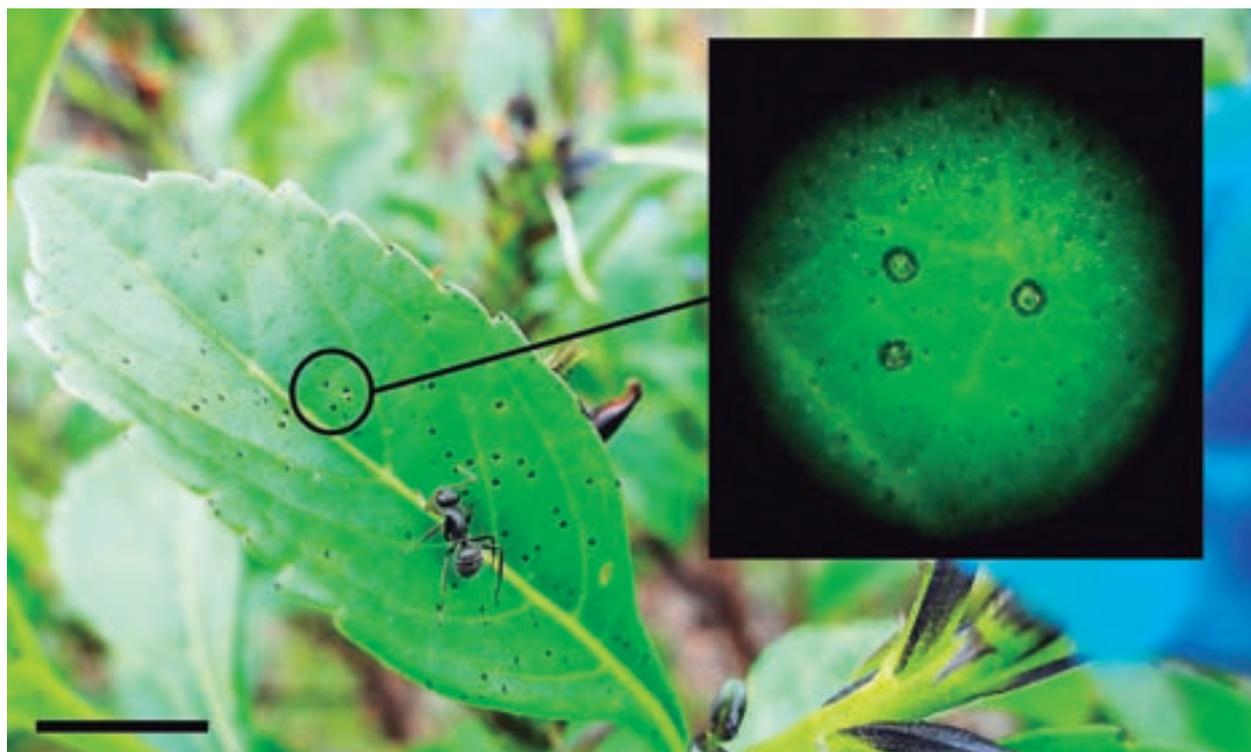


Figura 4 – Exemplo de relação de mutualismo entre a formiga *Camponotus crassus* e a planta portadora de nectários extraflorais (em detalhe à direita) *Stachytarpheta glabra*. A formiga coleta néctar enquanto protege a planta do ataque de insetos herbívoros. Barra de escala: 1cm. Foto: R. Fagundes.

Mutualismos

Dentro das relações mutualísticas, o conhecimento do sistema planta-polinizador é chave para traçar estratégias de manejo de espécies que estão ameaçadas ou vulneráveis, promovendo sua reprodução. Essas informações também podem ser importantes quando do emprego de plantas na recuperação de áreas degradadas, pois algumas espécies exigem polinizadores mais especializados, incompatíveis com ambientes muito degradados. A lista de estudos de polinização em campos ferruginosos do QF é pequena, existindo uma enorme lacuna a respeito da biologia reprodutiva da maioria delas. Das espécies que foram alvo deste tipo de estudo, podemos destacar *Stachytarpheta glabra*, polinizada principalmente por beija-flores e abelhas (ver abaixo). A canela-de-ema *Vellozia compacta* é polinizada por abelhas (Fleury & Jacobi 2005). Orquídeas dos gêneros *Acianthera*, *Bulbophyllum* e *Octomeria* são polinizadas por moscas diminutas, das famílias Chloropidae e Phoridae (Borba & Semir 1998, 1999, 2001, Barbosa *et al.* 2009). *Vriesea minarum* aparenta ser polinizada por beija-flores e morcegos (Lavor *et al.* 2014).

Outros estudos abelha-planta objetivaram conhecer as espécies que oferecem recursos florais (pólen e néctar) para assembleias de abelhas. Foi verificada uma alta riqueza de abelhas, sociais e solitárias, que dependem de uma grande quantidade de plantas (Martins *et al.* 2012, Santos 2013), embora nem todos os esses visitantes possam ser polinizadores (Fig. 5).



Figura 5 – Exemplos de visitantes florais. A) *Apis mellifera* em *Vellozia compacta*; B) *Megaselia* sp., polinizador de *Acianthera teres* (barra de escala = 2mm); C) *Bombus atratus*, pilhador de *Stachytarpheta glabra*; D) hesperídeo em *Vellozia compacta*. Fotos: A-C-D: C.M. Jacobi; B: E.L. Borba.

Um interessante mutualismo é o que ocorre entre formigas e o hemíptero *Calloconophora pugionata* (Fagundes *et al.* 2012, 2013). Esses herbívoros se alimentam da planta *Myrcia obovata* (Myrtaceae), uma árvore comum nas cangas ferruginosas do PEIT. *C. pugionata* vive em agregações de adultos, ninfas e ovos junto aos meristemas apicais da planta hospedeira, sugando a seiva diretamente dos tecidos condutores (Fig. 6A). A seiva é excretada pelo hemíptero como um exsudato (em inglês ‘*honeydew*’) composto de seiva, excrementos e secreções fisiológicas. Esse exsudato é riquíssimo em nutrientes e energia, e muito utilizado pelas formigas como alimento. Para coletar o *honeydew*, as formigas realizam intenso patrulhamento em torno dos hemípteros, com o benefício para estes de ficarem protegidos contra seus inimigos naturais, como vespas parasitoides e aranhas predadoras. Hemípteros protegidos por formigas vivem por mais tempo, e se reproduzem mais do que hemípteros carentes de proteção (Fig. 6B; Fagundes *et al.* 2013).

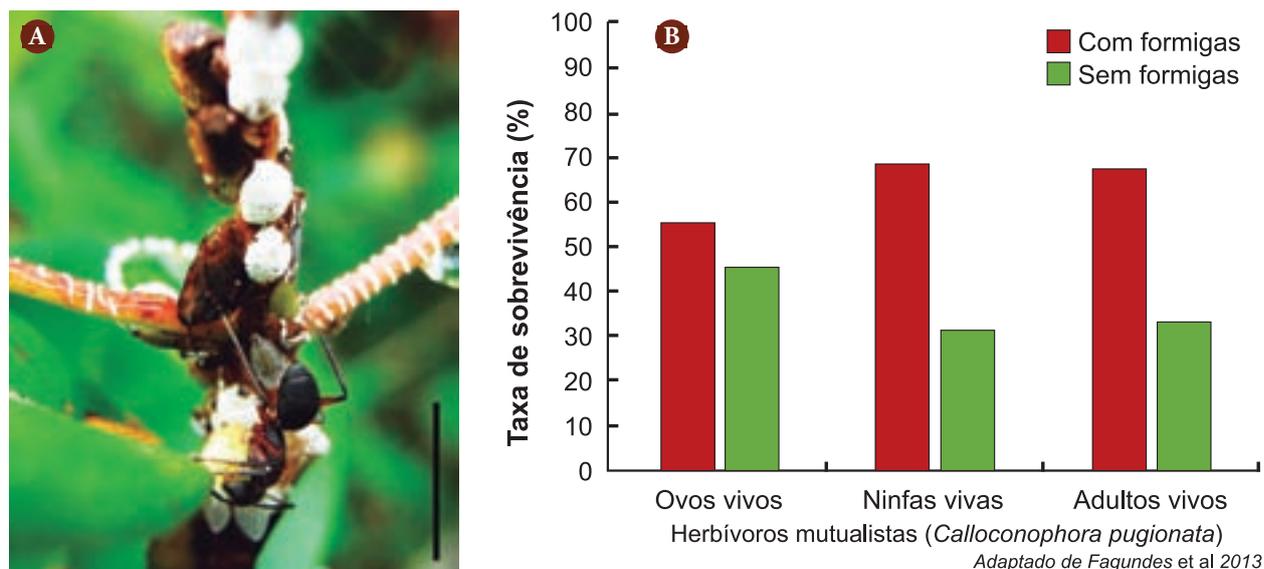


Figura 6 – Mutualismo entre a formiga *Camponotus rufipes* (Formicidae) e o herbívoro sugador de seiva *Calloconophora pugionata* (Hemiptera: Membracidae), associados à planta *Myrcia obovata* (Myrtaceae) em área de canga ferruginosa do Parque Estadual do Itacolomi (Ouro Preto/Brasil). (A) A formiga *C. rufipes* coleta gotas de secreção açucarada liberada pelo inseto. A formiga protege o herbívoro de seus inimigos naturais, como aranhas predadoras e vespas parasitas. Barra de escala: 1cm. (Foto: Roberth Fagundes 2008); (B) Efeito positivo da presença da formiga mutualista para a sobrevivência de diferentes estágios da vida do hemíptero (Adaptado de Fagundes R. 2013).

Outra espécie de planta que parece se beneficiar da associação com formigas é a leguminosa *Lupinus arenarius*, na qual formigas *Camponotus* sp. removem operárias de cupins colocados experimentalmente (Aoki *et al.* 2007).

Pesquisas sobre dispersão de sementes, um importante mutualismo dispersivo, são incipientes. O trabalho mais completo, de Santos *et al.* (2014), focalizou o papel da frugivoria na dispersão de sementes de *Miconia pepericarpa* (Melastomataceae), que é realizada por 10 espécies de aves.

Parasitismo

O parasitismo foi o segundo tipo de interação mais abordada nos estudos, focalizando o comportamento de plantas parasitas. Estas podem ser generalistas, parasitando um grande número de plantas hospedeiras, ou especialistas, restringindo-se a apenas uma ou poucas espécies (Norton & Carpenter, 1998; Penning & Callaway, 2002). Mesmo que algumas tenham a capacidade de realizar fotossíntese, são incapazes de obter água e sais minerais por meios próprios. Essas plantas prejudicam outras plantas, pois podem reduzir a biomassa e alterar a alocação de recursos de suas hospedeiras.

Apesar deste efeito negativo, as parasitas podem ter relações mutualísticas com determinadas espécies, quando são utilizadas como fonte de recursos por uma variedade de organismos,

entre eles polinizadores e dispersores (Aukema, 2003). Como as aves são as principais dispersoras de suas sementes, as plantas parasitas se tornaram vulgarmente conhecidas como ervas-de-passarinho.

Duas plantas parasitas da família Loranthaceae foram estudadas com detalhes na comunidade vegetal no PESRM. Uma delas é *Struthanthus flexicaulis*, uma espécie generalista que infecta mais de 40 hospedeiras nos campos ferruginosos (Mourão *et al.* 2006) (Fig. 7A). Esta baixa especificidade é uma estratégia conveniente em *habitats* altamente heterogêneos. É possível que esta espécie seja capaz de procurar por hospedeiras ativamente, pois, após a formação de raízes especializadas, os haustórios, seus ramos parecem receber estímulos que modificam o direcionamento de suas trajetórias, provavelmente visando à captura de recursos (Mourão 2012). A outra, *Tripodanthus acutifolius*, pode ser considerada especialista, pois parasita menos de dez espécies, todas lenhosas (Fig. 7B). Ambas retiram água e sais minerais de suas hospedeiras através de haustórios. Entretanto, *S. flexicaulis* possui raízes aéreas do tipo epicortical e seus haustórios são formados somente nos caules das hospedeiras. Já *T. acutifolius* cria conexões haustoriais com o caule e raiz (Der & Nickrent 2008). O haustório primário é formado logo após a germinação na parte aérea da hospedeira, e a plântula estende suas raízes ao longo do caule da hospedeira, atingindo a sua raiz.

A hospedeira mais parasitada por ambas é *Mimosa calodendron* (Fabaceae), uma leguminosa abundante no local de estudo. Indivíduos de *M. calodendron* não parasitados parecem quase insensíveis à combinação de condições ambientais extremas observadas localmente. A mortalidade é baixa e em geral está associada ao tombamento das plantas pelo vento, quando grande parte de suas raízes perde aderência. Suas copas apresentam baixa caducifolia mesmo no auge da estação seca, sendo normalmente frondosas e carregadas de flores e frutos durante a estação chuvosa. Entretanto, quando parasitadas, mostram sinais nítidos de estresse, percebido pela queda de folhas que se acentua ao longo do tempo, culminando com a morte da planta (Fig. 8).

A cobertura foliar e o número de frutos produzidos por indivíduos de *M. calodendron* infectados são bem menores que em não parasitados. Entretanto, o parasitismo não parece afetar a taxa de germinação (Loureiro *et al.* 2010). Uma consequência destes efeitos negativos é a diminuição do número de *M. calodendron* ao longo do tempo (Mourão *et al.* 2009).

Interações indiretas e negativas também foram observadas em hospedeiras parasitadas. Sementes de *M. calodendron* foram predadas por larvas de besouros da família Curculionidae (Batista *et al.* 2007). Estes insetos são considerados importantes pragas agrícolas e florestais e foram responsáveis por perdas adicionais das sementes de *M. calodendron*. A maior taxa de ataque por larvas desses besouros em mimosas parasitadas sugere a redução no investimento em defesas, tornando os frutos e sementes mais suscetíveis.

Também foi observado comensalismo entre *S. flexicaulis* e a formiga *Camponotus crassus*. Esta formiga retira o visco das sementes depositadas pelas aves nos troncos das hospedeiras (Pinheiro *et al.* no prelo). A Figura 9 ilustra a complexa rede de interações entre a parasita e outros organismos dos campos rupestres.



Figura 7 – Plantas parasitas. Coluna A) *Struthanthus flexicaulis*: botões, flores e frutos. Fotos: F.A. Mourão; Coluna B) *Tripodanthus acutifolius*: botões, flores e frutos. Fotos: C.M. Jacobi.

Os efeitos de plantas parasitas nas suas hospedeiras podem ser menos evidentes do que a redução do número de estruturas reprodutivas. Um destes efeitos é o aumento na taxa de assimetria flutuante. A assimetria flutuante (AF) é tida como uma manifestação de estresse durante o desenvolvimento de caracteres bilaterais, por exemplo a formação de folhas, onde os dois lados têm medidas ou formas diferentes. Cuevas-Reyes *et al.* (2011) investigaram a diferença de padrões de AF em folhas de arbustos (*S. glabra*, *L. pinaster* e *M. calodendron*) parasitados e não



Figura 8 – Indivíduos de *Mimosa calodendron*: A) não parasitado, B) parasitado, C) morto pela ação da erva-de-passarinho. Fotos: F.A. Mourão.

parasitados por *S. flexicaulis* em cangas da Serra do Rola Moça. Comprovaram que a taxa de AF foi maior no grupo parasitados, nas três espécies, e que dentro de cada espécie existe uma relação entre essa taxa e a intensidade da infestação. Os autores argumentam que, comparativamente a parasitas mais especializados, relações generalistas causam menos dano à planta hospedeira (Fig. 10).

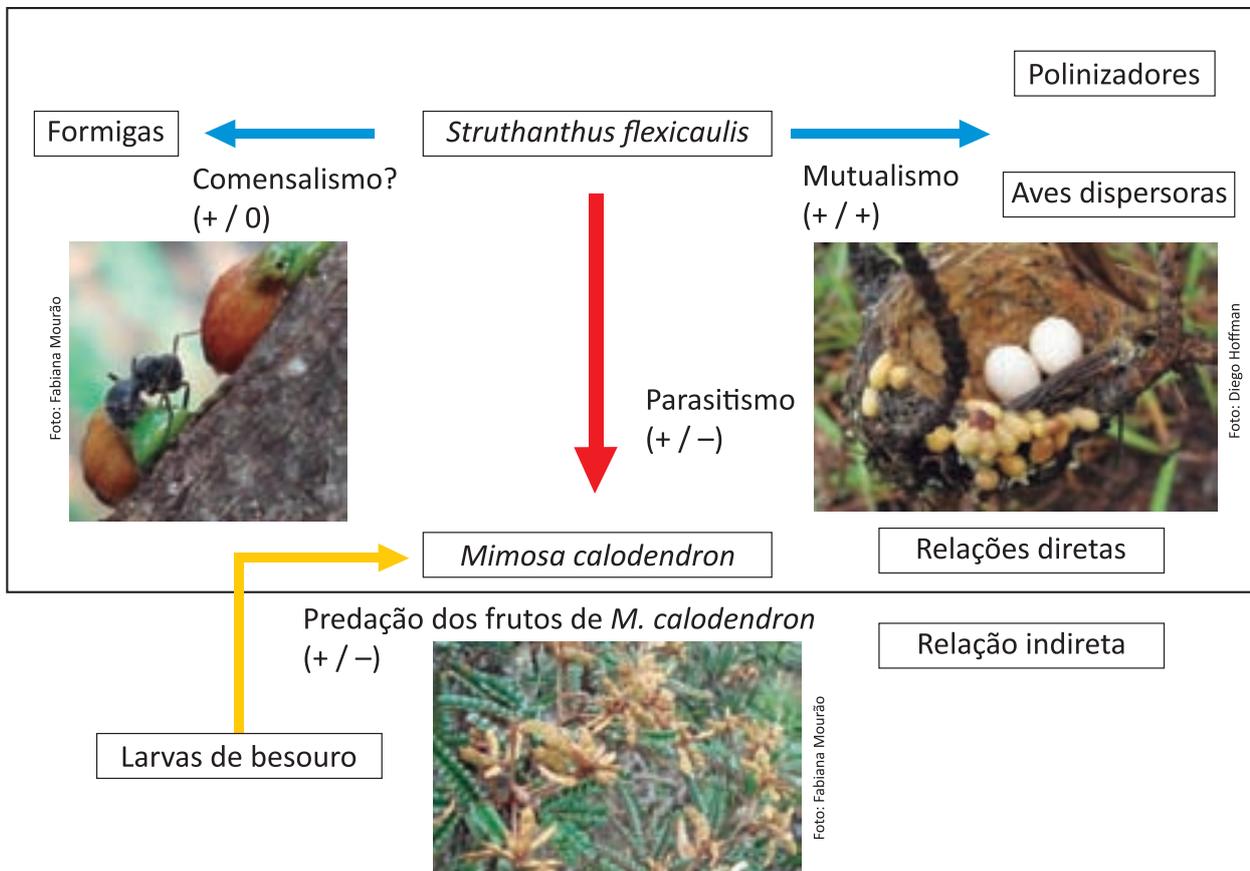


Figura 9 – Interações ecológicas mantidas pela atuação de *Struthanthus flexicaulis*.

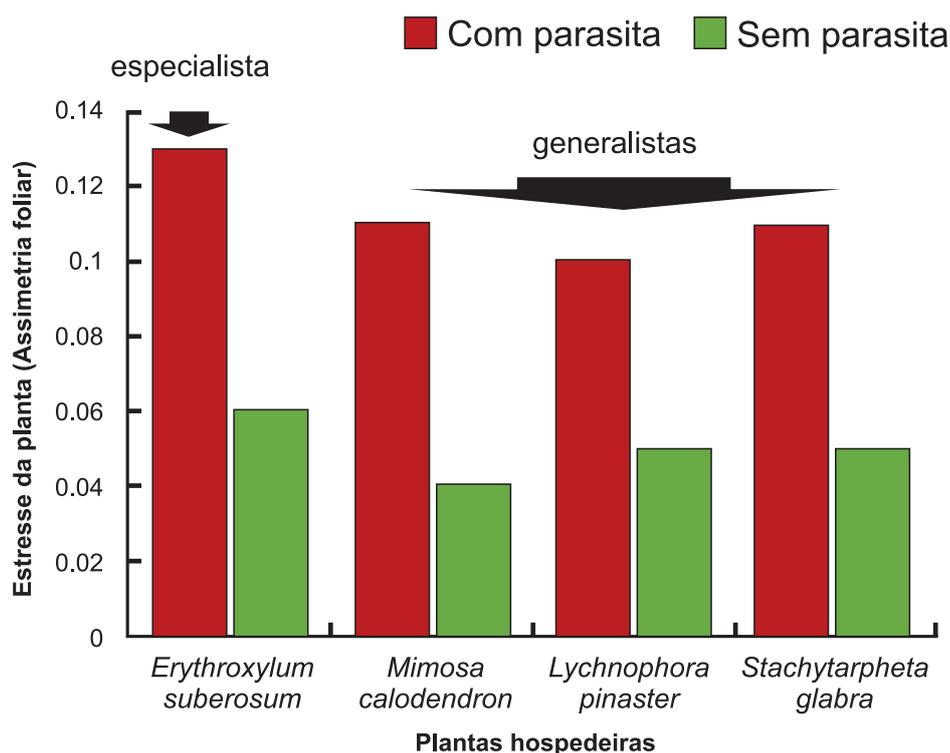


Figura 10 – Efeito negativo de plantas parasitas (ervas-de-passarinho) sobre quatro espécies de plantas hospedeiras em canga ferruginosa da Serra do Cipó e Serra do Rola Moça. Note que a parasita *Phoradendron amplexicaule*, que parasita uma só espécie de planta, causa maior estresse à planta hospedeira do que *Struthanthus flexicaulis*, que têm várias espécies de plantas parasitadas. Figura adaptada de Cuevas-Reyes *et al.* 2011.

Outras interações negativas

Não existem muitas pesquisas sistemáticas sobre danos causados às plantas de canga. O estudo mais completo é de Drummond *et al.* (2002), que realizaram um levantamento dos insetos herbívoros de *S. glabra* ao longo de um ano. Os herbívoros causam danos de diferentes proporções às plantas, e sua predominância numérica varia ao longo dos meses, diminuindo na estação seca, junto com a redução de biomassa vegetal. Entre as formas adultas, predominaram gafanhotos (Acrididae) e esperanças (Tettigoniidae), mas os maiores danos a esta planta foram causados por formas jovens, principalmente de Lepidoptera. Lagartas de grande porte, como as das mariposas olho-de-pavão (*Automeris memusae*) e o bicho-da-seda brasileiro (*Rothschildia jacobaeae*), ambas da família Saturniidae, são conhecidas pela sua voracidade, destituindo os indivíduos atacados de grande parte da sua folhagem (Fig. 11), afetando sua capacidade fotossintética e a produção de flores e frutos. Essas larvas costumam ser parasitadas pelo microhimenóptero *Conura* sp. (Chalcididae).

Danos menos expressivos foram causados por larvas de outros lepidópteros, das famílias Arctiidae e Lycaenidae (Fig. 12), além de microlepidópteros, que atacam preferencialmente as inflorescências, onde ficam camuflados.



Figura 11 – Larvas de mariposas (A) Saturniidae sp. em *Vellozia compacta* e (B) *Rothschildia jacobaeae* em *Stachytarpheta glabra*. Fotos: C.M. Jacobi.

Outro grupo muito comum de herbívoros imaturos é o dos endófagos, representados por minadores de folhas e por galhadores de inflorescências (Fig. 13). Galhadores foram raros na população de *S. glabra* se comparados com os minadores. Estes últimos são assim chamados, pois as larvas, milimétricas, eclodem no mesófilo das folhas e vão-se alimentando deste, cavando caminhos (ou túneis) intrincados dentro da folha à medida que se desenvolvem, até o estágio de pupa. Os túneis são facilmente localizados por fêmeas de vespas parasitas, que introduzem um ovo na larva da mosca minadora, passando a se alimentar desta até provocar sua morte e completar seu desenvolvimento dentro da folha. Nesta planta em particular, dois tipos de minas podem ser encontrados nas folhas: os túneis e as bolsas. Estas últimas são causadas por larvas de microlepidópteros e são pouco frequentes se comparadas com os túneis.

Os principais minadores de túnel são larvas de moscas da família Agromyzidae (Diniz *et al.* 2003). Um estudo dos seus parasitoides em áreas de canga do PESRM, ao longo de três anos (Lanza *et al.* 2002, 2003, 2005), mostrou que as moscas minadoras são parasitadas por seis espécies



Figura 12 – Lycaenidae: larva, pupa e adulto. Fotos: C.M. Jacobi.



Figura 13 – Endófagos de *Stachytarpheta glabra*. A) Mina foliar do tipo bolsa (microlepidóptero); B) galha na inflorescência, provavelmente de mosca Cecidomyiidae. Fotos: C.M. Jacobi.

diferentes de micro-himenópteros (Chalcidoidea): duas da família Pteromalidae e quatro de Eulophidae, que foi a família mais abundante, representada principalmente pelos gêneros *Proacrias* sp., *Baryscapus* sp. e *Diglyphus* sp. (Fig. 14).

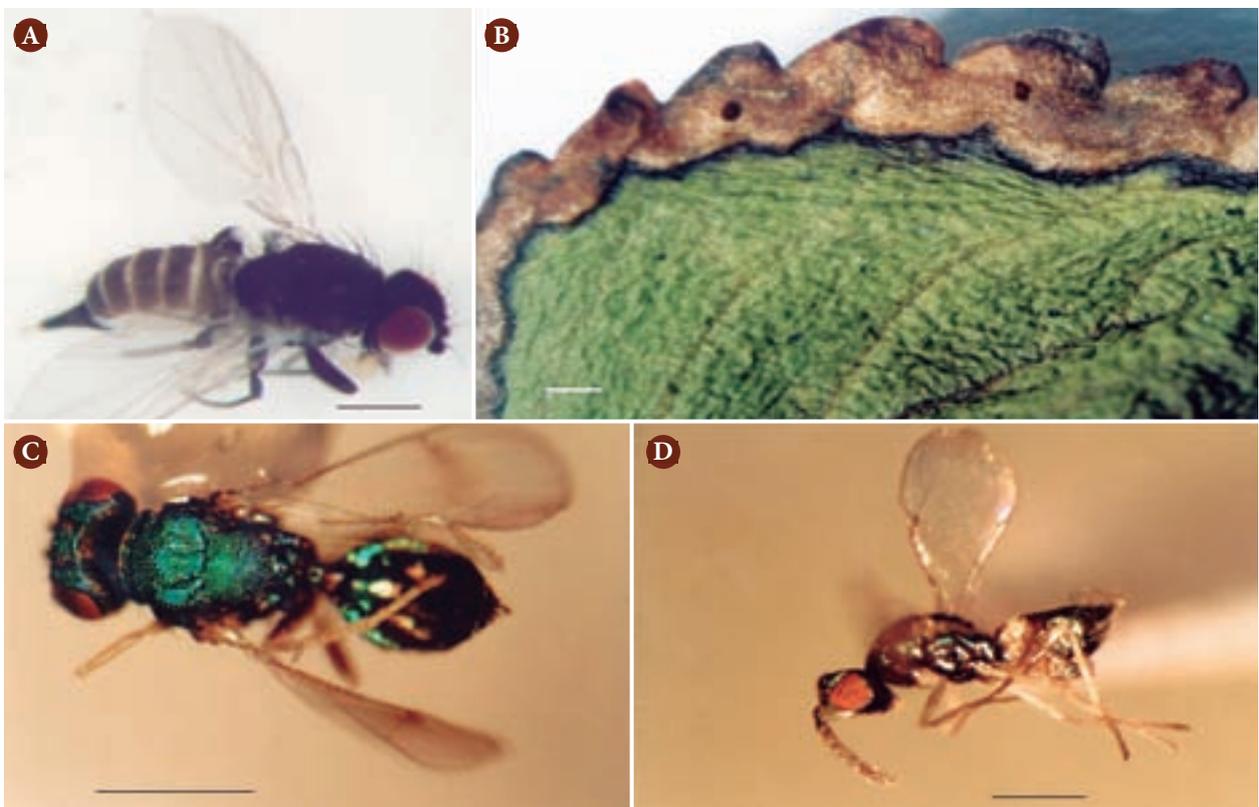


Figura 14 – Mosca-minadora (Agromyzidae) e parasitoides. A) mosca adulta, B) mina parasitada, C) *Proacrias* sp., D) *Baryscapus* sp. Barra de escala: 1 mm. Fotos: R.A. Lanza.

Além das pesquisas com *S. glabra*, Beirão *et al.* (2005) compararam os florívoros desta planta com a asterácea *Lychnophora pinaster*. Os Orthoptera foram pouco abundantes em ambas as espécies. Os danos causados por coleópteros, principalmente Chrysomelidae, e por Hemiptera também foram pouco significativos. Carmo & Jacobi (2005) investigaram as perdas em sementes e plântulas de duas populações de *Lupinus laevigatus*, uma leguminosa ameaçada, endêmica do QF. Os principais danos pós-dispersão foram causados por formigas-cortadeiras (*Acromyrmex* sp.), seguido de curculionídeos e microlepidópteros.

Considerações finais

A riqueza de interações em campos rupestres sobre canga é mal conhecida, e as pesquisas concentram-se na porção sul do QF. Este quadro é preocupante diante da necessidade de aprofundar o entendimento de interações como a polinização e dispersão de sementes, considerando seu papel na manutenção da variabilidade genética e de populações viáveis, mas também em programas de restauração da paisagem. Nas comunidades sobre canga, os atores mais importantes nestas funções são os insetos como polinizadores e, em menor grau, as aves como dispersoras de sementes. Vertebrados de grande porte, provavelmente pela localização elevada das cangas e a escassa representatividade do componente arbóreo, parecem ser protagonistas menores, com algumas exceções. Entretanto, ainda é cedo para afirmar isto. Somente um punhado de espécies de plantas tem sido pesquisado exaustivamente, e em cada caso a rede de interações desvendada foi muito complexa.

Agradecimentos

Somos gratos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão de diversos auxílios financeiros para nossas pesquisas. CMJ e YA são bolsistas de produtividade do CNPq. Agradecemos ao Instituto Estadual de Florestas (IEF/MG) e especialmente aos funcionários do Parque Estadual da Serra do Rola Moça pelo apoio logístico.

Referências Bibliográficas

- Antonini, Y. & Jacobi, C.M. 1999. Utilização de *Stachytarpheta glabra* Cham. (Verbenaceae) por herbívoros e nectarívoros em uma região de canga, MG. In: 50º Congresso Nacional de Botânica. Blumenau-SC. *Anais...*
- Antonini, Y.; Souza, H.G.; Jacobi, C.M. & Mury, F.B. 2005. Diversidade e comportamento dos insetos visitantes florais de *Stachytarpheta glabra* Cham. (Verbenaceae), em uma área de campo ferruginoso, Ouro Preto, MG. *Neotropical Entomology*, 34: 555-564.
- Aoki, A.; Carmo, F.F.; Mendes de Sá, C.E. & Jacobi, C.M. 2007. Defesa de indivíduos de *Lupinus arenarius* Gardner (Fabaceae) por formigas (*Camponotus* sp.) em campos rupestres, Minas Gerais, Brasil. In: VIII Congresso de Ecologia do Brasil, Caxambu. *Anais...* v. 1.
- Arruda, R.; Lunardelli, C.; Kitagawa, C.; Caires, C.S.; Teodoro, G.S. & Mourão, F.A. 2013. Two mistletoes are too many? Interspecific occurrence of mistletoes on the same host tree. *Acta Botanica Brasilica*, 27: 226-230.
- Aukema, J.E. 2003. Vectors, viscin and Viscaceae: mistletoes as parasites, mutualists, and resources. *Frontiers in Ecology and Environment*, 1: 212-219.
- Azevedo, C.O. & Santos, H.S. 2000. Perfil da fauna de himenópteros parasitoides (Insecta, Hymenoptera) em uma área da Mata Atlântica da Reserva Biológica de Duas Bocas, Cariacica, ES, Brasil. *Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão*, 11/12: 117-126.
- Barbosa, A.R.; Melo, M.C. & Borba, E.L. 2009. Self-incompatibility and myophily in *Octomeria* (Orchidaceae, Pleurothallidinae) species. *Plant Systematics and Evolution*, 283: 1-8.
- Barbosa, B.C.; Fagundes, R.; Silva, L.F.; Tofoli, J.F.V.; Santos, A.M.; Imai, B.P.; Gomes, G.G.; Hermiforff, M.M. & Ribeiro, S.P. 2015. Evidences that human disturbance simplify the fauna and their ecological functions compromising the benefits of ant-plant mutualisms. *Brazilian Journal of Biology*. No prelo.
- Batista, E.K.L.; Mourão, F.A.; Jacobi, C.M. & Figueira, J.E.C. 2007. *Mimosa calodendron* (Leguminosae): Influência do parasitismo por *Struthanthus flexicaulis* (Loranthaceae) na produção e predação de suas sementes. In: VIII Congresso de Ecologia do Brasil, Caxambu. *Anais...*
- Beirão, M.V.; Pacheco, B.G. & Jacobi, C.M. 2005. Pre-dispersal reproductive losses in *Stachytarpheta glabra* (Verbenaceae) and *Lychnophora ericoides* (Asteraceae) in altitudinal metaliferous fields, Minas Gerais, SE Brazil. In: Frontiers in Tropical Biology and Conservation – ATBC. Uberlândia. *Abstracts...* v. 1, p. 148.
- Borba, E.L. & Semir, J. 1998. Wind-assisted fly pollination in three *Bulbophyllum* (Orchidaceae) species occurring in the Brazilian campos rupestres. *Lindleyana*, 13(3): 203-218.
- Borba, E.L. & Semir, J. 1999. Temporal variation in pollinarium size after its removal in species of *Bulbophyllum*: a different mechanism preventing self-pollination in Orchidaceae. *Plant Systematics and Evolution*, 217: 197-204.
- Borba, E.L. & Semir, J. 2001. Pollinator specificity and convergence in fly-pollinated *Pleurothallis* (Orchidaceae) species: a multiple population approach. *Annals of Botany*, 88(1): 75-88.

- Calder, M. & Bernardt, P. 1983. The biology of mistletoes. Sydney: Academic Press. 333 p.
- Carmo, F.F. & Jacobi, C.M. 2005. Perdas pré e pós-dispersão de sementes de *Lupinus laevigatus* (Fabaceae), espécie ameaçada em campos ferruginosos de altitude, MG. In: VII Congresso de Ecologia do Brasil. *Anais...*
- Cuevas-Reyes, P.; Fernandes, G.W.; González-Rodríguez, A. & Pimenta, M. 2011. Effects of generalist and specialist parasitic plants (Loranthaceae) on the fluctuating asymmetry patterns of rupestrian host plants. *Basic and Applied Ecology*, 12: 449-455.
- Dáttilo, W.; Fagundes, R.; Gurka, C.A.; Silva, M.S.; Vieira, M.C.; Izzo, T.J. & Rico-Gray, V. 2014. Individual-based ant-plant networks: diurnal-nocturnal structure and species-area relationship. *PLoS One*, 9(6): e99838. DOI:10.1371/journal.pone.0099838.
- Der, J.P. & Nickrent, D.L. 2008. A molecular phylogeny of Santalaceae (Santalales). *Systematic Botany*, 33: 107-116.
- Diniz, I.M.; Jacobi, C.M.; Antonini, Y.; Lanza, R.A. & Cardinali, B.F. 2003. Minadores de *Stachytarpheta glabra* (Verbenaceae) em campos ferruginosos de altitude, Minas Gerais. In: VI Congresso de Ecologia do Brasil, 2003, Fortaleza. *Anais de Trabalhos Completos*, 3: 536-537.
- Fagundes, R.; Del-Claro, K. & Ribeiro, S.P. 2012. Effects of the trophobiont herbivore *Calloconophora pugionata* (Hemiptera) on ant fauna associated with *Myrcia obovata* (Myrtaceae) in a montane tropical forest. *Psyche*, 2012: Article ID 783945. DOI:10.1155/2012/783945
- Fagundes, R.; Ribeiro, S.P. & Del-Claro, K. 2013. Tending-ants increase survivorship and reproductive success of *Calloconophora pugionata* Drietch (Hemiptera, Membracidae), a trophobiont herbivore of *Myrcia obovata* O. Berg (Myrtales, Myrtaceae). *Sociobiology*, 60: 11-19.
- Fleury, L.C. & Jacobi, C.M. 2005. Biologia reprodutiva e visitantes florais de *Vellozia compacta* (Velloziaceae) em solo de canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: VII Congresso de Ecologia do Brasil, 2005, Caxambu. *Anais...* v. 1, p. 1.
- Goulet, H. & Huber, J.T. 1993. *Hymenoptera of the world: an identification guide to families*. Ottawa: Agriculture Canada Publication,. 668 p.
- Jacobi, C.M. & Antonini, Y. 2000. Use of *Stachytarpheta glabra* Cham. (Verbenaceae) by herbivorous and nectarivorous insects in a metaliferous altitudinal region, Minas Gerais, Brazil. In: Proceedings of the XXI International Congress of Entomology. Foz do Iguaçu. *Anais...*
- Jacobi, C.M. & Antonini, Y. 2003. Fenologia e oferta de recursos florais de *Stachytarpheta glabra* (Verbenaceae) em área de canga couraçada, MG. In: VII Congresso de Ecologia do Brasil. Fortaleza. *Anais de Trabalhos Completos*, v. 1, p. 417-419.
- Jacobi, C.M. & Antonini, Y. 2008. Pollinators and defense of *Stachytarpheta glabra* (Verbenaceae) nectar resources by the hummingbird *Colibri serrirostris* (Trochilidae) on ironstone outcrops in south-east Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 24: 301-308.
- Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. 2008. The contribution of ironstone outcrops to plant diversity in the Iron Quadrangle, a threatened Brazilian landscape. *AMBIO*, 37: 324-326.

- Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. 2011. Life-forms, pollination and seed dispersal syndromes in plant communities on ironstone outcrops, SE Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, 25: 395-412.
- Lanza, R.A.; Jacobi, C.M.; Antonini, Y. & Diniz, I.M. 2002. Interação minador-parasitoide em folhas de *Stachytarpheta glabra* (Verbenaceae) do Parque Estadual da Serra do Rola Moça (MG). In: XI Semana de Iniciação Científica da UFMG. Belo Horizonte. *Resumos...* v. 1, p. 270.
- Lanza, R.A.; Jacobi, C.M.; Kumagai, A.F; Antonini, Y.; Diniz, I.M. & Cardinali, B.F. 2003. Parasitóides de Agromyzidae minadores de *Stachytarpheta glabra* (Verbenaceae) em campos ferruginosos de altitude, Minas Gerais. In: VI Congresso de Ecologia do Brasil. Fortaleza. *Anais...* p. 572-573.
- Lanza, R.A.; Jacobi, C.M.; Kumagai, A.F. & Antonini, Y. 2005. Parasitoid diversity of *Stachytarpheta glabra* (Verbenaceae) leafminers from altitudinal metaliferous fields, Minas Gerais, SE Brazil. In: Frontiers in Tropical Biology and Conservation - ATBC 2005. Uberlândia. *Abstracts...* v. 1, p. 131.
- Lavor, P.; Berg, C.V.D.; Jacobi, C.M.; Carmo, F.F. & Versieux, L. 2014. Population genetics of the endemic and endangered *Vriesea minarum* (Bromeliaceae) in the Iron Quadrangle, Espinhaço Range, Brazil. *American Journal of Botany*, 101: 1167-1175.
- Loyola, R.D.; Antonini, Y.; Jacobi, C.M. & Martins, R.P. 2007. Disponibilidad de recursos florales en campos metalíferos: riqueza de especies, frecuencia de visitación y comportamiento de abejas. *Bioikos*, 21: 41-50.
- Martins, C.; Silveira, R.A.; Nascimento, N.O. & Antonini, Y. 2012. Fauna de abelhas de campos ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *MG.Biota*, 5: 34-37.
- Mourão, F.A. 2012. *Dinâmica do forrageamento da hemiparasita Struthanthus flexicaulis Mart. (Loranthaceae) e sua influência na estrutura da comunidade vegetal de campos rupestres ferruginosos – MG*. Tese de Doutorado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Biológicas. 104 p.
- Mourão, F.A.; Carmo, F.F.; Ratton, P. & Jacobi, C.M. 2006. Hospedeiras da hemiparasita *Struthanthus flexicaulis* Mart. (Loranthaceae) em campos rupestres ferruginosos do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Lundiana*, 7: 103-109.
- Mourão, F. A.; Jacobi, C.M.; Figueira, J.E.C. & Batista, E.K.L. 2009. Efeitos do parasitismo de *Struthanthus flexicaulis* (Mart.) (Loranthaceae) na aptidão de *Mimosa calodendron* Mart. (Fabaceae), um arbusto endêmico dos campos rupestres sobre canga, em Minas Gerais. *Acta Botanica Brasilica*, 23: 820-825.
- Mourão, F.A.; Pinheiro, R.B.P.; Loureiro, M.G.; Figueira, J.E.C. & Jacobi, C.M. 2011. Aves dispersoras de sementes da parasita *Struthanthus flexicaulis* (Loranthaceae) apresentam preferência por poleiros? In: IX Congresso de Ornitologia Neotropical. Cuzco. *Resúmenes...* p. 1.
- Norton, D.A. & Carpenter, M.A. 1998. Mistletoes as parasites: host specificity and speciation. *Trends in Ecology and Evolution*, 13: 101-105.
- Pennings, S.C. & Callaway, R.M. 2002. Parasitic plants: parallels and contrasts with herbivores. *Oecologia*, 131: 479-489.

Pimentel, A.L.D.; Fagundes, R. & Antonini, Y. 2012. *Defesa biótica induzida por herbivoria na planta mirmecófila Stachtarpheta glabra Cham. (Verbenaceae)*. Monografia de Bacharelado. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto.

Pinheiro, R.B.P.; Mourão, F.A. & Jacobi, C.M. Sobrevivência de sementes e plântulas da erva-de-passarinho *Struthanthus flexicaulis* Mart. (Loranthaceae). *MG.Biota*. No prelo.

Salvo, A. & Valladares, G. 1998. Taxonomic composition of hymenopteran parasitoid assemblages from agromyzid leaf-miners sampled in Central Argentina. *Studies in Neotropical Fauna and Environment*, 33: 116-123.

Santos, A.M.; Jacobi, C.M. & Silveira, F.A.O. 2014. Dispersores das sementes de *Miconia pepericarpa* (Melastomataceae) em campo rupestre ferruginoso, Minas Gerais, Brasil. In: Congresso Internacional de Ornitologia. Santiago. *Resúmenes...*

Santos, R.C. 2013. *Efeitos do fogo sobre a estrutura de comunidades de abelhas e sobre redes de interações abelha-planta em áreas de canga no Parque Estadual da Serra do Rola Moça*. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Biológicas.

Strong, D.R.; Lawton, J.H. & Southwood, R. 1984. *Insect on plants: Community Patterns and Mechanisms*. Cambridge: Harvard University Press. 312 p.

Vincent, R.C.; Jacobi, C.M. & Antonini, Y. 2002. Diversidade na adversidade: a vida nos campos ferruginosos do Quadrilátero Ferrífero. *Ciência Hoje*, 31: 64-67.

Watson, D.M. 2001. Mistletoe – A keystone resource in forests and woodlands worldwide. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32: 219-249.

CONTEXTO ARQUEOLÓGICO E LONGA DURAÇÃO NAS SERRAS DO PARAOPEBA, NEGRA E DO ITABIRA, MG

Rogério Tobias Junior, Évelin Luciana Malaquias Nascimento & Igor Morais Mariano Rodrigues

Introdução

O presente capítulo busca estabelecer relações entre os contextos de ocupação humana nas regiões das Serras da Moeda, Cachimbo/Calçada, Curral, Três Irmãos, Itatiaiuçu e Itabirito, contemplados por toponímias específicas, considerando a paisagem como elo fundamental de relacionamento entre elas.

Por meio de parte das pesquisas arqueológicas acadêmicas e relacionadas a licenciamentos ambientais na área de estudo, foram levantados cerca de 300 sítios arqueológicos históricos e pré-coloniais distribuídos pelas serras e entorno. Esses carecem de integração contextual mínima a fim de alcançar resultados que possam extrapolar as observações e explicações intra-sítio. Esse cenário já permite uma primeira aproximação acerca de sua organização e interação com a paisagem regional.

A área de estudo (Figura 1) se insere na região do Quadrilátero Ferrífero/MG, em sua porção oeste. Contempla as bacias do Rio Paraopeba e das Velhas, parte da bacia São Franciscana, relevantes vetores de dispersão populacional no passado. É marcada pela ocorrência abrangente de rochas ferríferas e quartzíticas que conferem aspectos particulares à paisagem, apropriados de modos distintos ao longo do tempo pelas populações humanas.

Aspectos paisagísticos na área de estudo

As serras em foco se impõem no relevo como elevações topográficas que ultrapassam os 1.200 metros de altitude. Durante o período colonial e posteriormente, foram tratadas por toponímias distintas, expressões de visões particulares acerca da paisagem regional.

As Serra da Moeda, Cachimbo, Calçada e Rola Moça ao longo de seus 54km, eram chamadas de Serra do Paraopeba, segundo elevações de orientação aproximada Sul/Norte. Estendem-se desde os arredores do município de Congonhas/MG até seu encontro com a Serra do Curral.

As serras do Curral, Três Irmãos e Itatiaiuçu, por sua vez, integram a Serra Negra, com 73km de extensão, referencial marcante na paisagem, que divide os altos cursos dos Rios Paraopeba e das Velhas, de suas porções médias e inferiores. Sua orientação aproximada, de nordeste para sudoeste e seu posicionamento permitem seu encontro com a Serra do Paraopeba.

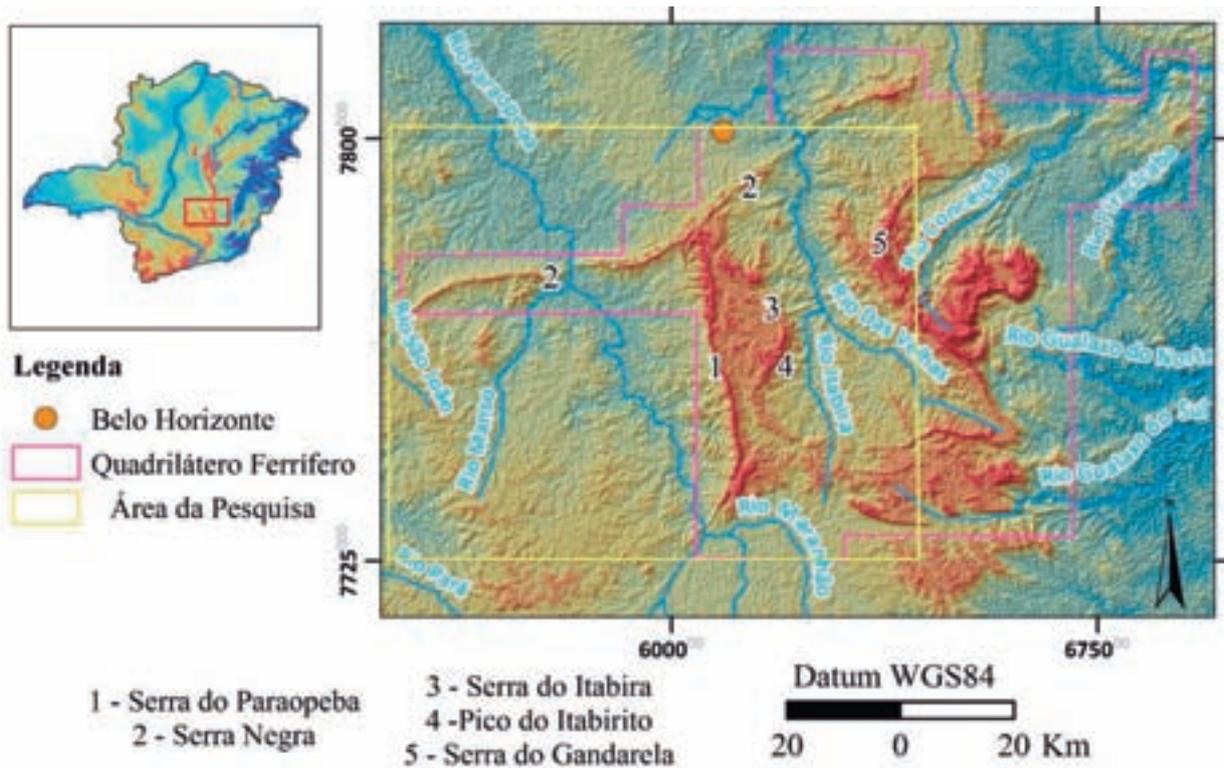


Figura 1 – Identificação da área de estudo.



Figura 2 - Mapa da capitania de Minas Gerais com a divisa de suas comarcas. Autor: Joaquim José da Rocha, 1778. Fonte: http://www.siaapm.cultura.mg.gov.br/modules/grandes_formatos_docs/viewcat.php?cid=920 acessado em 12/07/14.

Foi em função do encontro das serras do Paraopeba e Negra que se estabeleceram as divisas das Comarcas durante o período Colonial, delimitando a de Sabará, ao norte, a de Vila Rica, a leste, e a do Rio das Mortes, a oeste, demonstrando a relevância dessas serras no período histórico (Vasconcelos, 1901).

A Serra de Itabirito, outrora Serra de Itabira, se impõe na porção oriental da área de estudo e possui feição marcante na paisagem: o Pico do Itabirito, a 1.580 metros de altitude. Ela segmenta o relevo intermediário entre a Serra do Paraopeba, marcado pelo Platô da Sinclinal Moeda, por volta de 1.300m de altitude e menor ocorrência de formações ferríferas, do relevo mais a leste, caracterizado pela depressão do Rio das Velhas entre 900 e 1.000 m (GATE-CPRM, 2005). A Serra do Paraopeba também opera de maneira semelhante na direção do rio homônimo, entre 750 e 1.000m. Já a Serra Negra apresenta relevo mais abrupto que as demais, entre 1.000 e 1.300m.

A geologia e geomorfologia regional denota distribuição distinta de feições do relevo e de recursos ambientais na área de estudo. Segundo Varajão *et al* (2009), as terras altas, marcadas por compartimentos serranos dispostos em cristas e superfícies erosivas soerguidas, estão vinculadas ao Supergrupo Minas, compostos por itabiritos e quartzitos.

Nas áreas de cristas e bordos ao longo das serras, ocorrem também superfícies lateríticas extensas, as quais contribuem para o desenvolvimento de características morfológicas particulares acima dos 1.300 metros de altitude (GATE-CPRM, 2005) e de abrigos e cavidades em formações ferríferas e quartzíticas, relatadas na bibliografia arqueológica e na do meio físico (Oliveira, Olivito, & Rodrigues-Silva, 2011; Auler, Ferreira, Baeta, & Piló, 2005).

Nas terras de altitude mediana, é indicada a ocorrência do Supergrupo Minas e Rio das Velhas, predominando quartzitos, xistos e filitos. Estão situadas abaixo dos 1.200 metros até cerca de 900m de altitude e são caracterizadas por escarpas e esporões.

Já as terras baixas se inserem sobre o embasamento granito/gnáissico, abaixo dos 900 metros, e caracterizam os níveis de base no Rio das Velhas e Paraopeba. O relevo no primeiro consiste em morros de topos aguçados, e no outro predomina o relevo colinar (GATE-CPRM, 2005).

Paisagem: perspectivas para a integração contextual da área de estudo

Sabendo da relevância das unidades de relevo no desenrolar histórico, administrativo e econômico das ocupações humanas na região pesquisada, buscamos compreender como os sítios conhecidos poderiam relacionar-se em razão de uma corrente mais ampla de atividades distribuídas pela paisagem. A partir de poucas variáveis disponíveis para tal fim nas fontes acessadas, quais sejam, a localização dos sítios arqueológicos e sua distribuição, os materiais e estruturas componentes, a tecnologia e, quando possível, a destinação funcional atribuída, pretendemos ampliar o cenário arqueológico da área de estudo por meio da inserção dos contextos locais dos sítios em um contexto regional minimamente conhecido. Partimos de uma perspectiva integrativa que considera a paisagem um processo temporal que compila repertórios históricos dos diversos agentes envolvidos nela (Ingold, 2000; Darvill, 1999).

Uma abordagem tradicional busca articular os elementos na paisagem considerando significados e formas físicas como universos separados, desvinculados entre si e articulados por intermédio de processos cognitivos. A paisagem seria uma realidade que opera na mente, a qual guia as ações dos indivíduos numa realidade externa a eles próprios (Cosgrove & Daniels, 1988; Beneš & Zvelebil, 1999; Anschuetz, Wilshusen, & Schieck, 2001).

Adotamos uma perspectiva baseada na ecologia da percepção, que pressupõe que a paisagem é produto extrínseco à dualidade mente/corpo (Gibson, 1986; Ingold, 2000). As formas e caracteres da paisagem se compõem como um somatório de performances desenvolvidas sobre uma trama histórica sobreposta, que pressupõe a agência humana e não humana. Os significados se encontram inscritos nela e se relacionam com as feições físicas e históricas, viabilizando o estabelecimento de visões diacrônicas do processo paisagístico.

A investigação arqueológica, nessa perspectiva, busca recuperar parte dos significados historicamente inscritos, respeitadas as devidas escalas de análise possíveis, e trazer à tona elementos ainda não discutidos acerca das distintas performances vivenciadas pelas populações pretéritas na área de estudo.

A perspectiva aqui colocada para a paisagem a entende como um processo ininterrupto de relações históricas entre os seres habitantes e feições ambientais. Possui extremado caráter temporal, articulado em diversas escalas, que impõe ritmos específicos em sua trajetória, conforme o repertório performativo envolvido em suas relações com os seres.

As ações são partes das relações estabelecidas nela, sem que a antecedam ou a precedam. Fazem parte dela. Surgem de um contexto relacional marcado pela recuperação de performances corporais e/ou sua adequação à situação colocada, e não a um plano pré-concebido de atuação.

Diante dessa articulação, propomos que a paisagem se encontra em *movimento*, e é exatamente por isso que possui acertado caráter temporal. Esse movimento se desenvolve em escalas distintas e dele participam os seres humanos, um dos contribuintes históricos à sua construção. Ritmos específicos, marcados por trajetórias e repertórios performativos distintos carregam, assim, nuances e elementos relevantes na compreensão das diversas formas desenvolvidas pelos seres humanos para se relacionarem com os demais agentes. É em razão do movimento que as pessoas orientam sua participação no mundo, constroem uma noção de lugar e, principalmente, habitam (*to dwell*. Ingold, 2000).

Esse fenômeno perceptivo do ambiente em que se inserem os seres humanos faz com que o movimento seja o responsável pela construção de uma compreensão do mundo regida por repertórios corporais historicamente construídos e constantemente referenciados e revistos na prática cotidiana (Ingold, 2000; Sahlins, 2001). É no envolvimento relacional dos seres humanos com as diferentes experiências e repertórios inscritos na paisagem e com os demais seres que surgem novas formas de interação e se mantêm as antigas.

Entendemos que os sítios arqueológicos são os vértices nesse fluxo de movimento, e que não podem ser compreendidos, em algumas escalas, através de uma segmentação espacial forçada dos locais com maior densidade de vestígios materiais (Willey & Phillips, 1958; Ingold, 2000). A paisagem em que estão inseridos atua nas relações que estabelecem com o ambiente, tornando

irrelevantes os limites imaginários estabelecidos nas abordagens tradicionais (Dunnell, 1992). Os sítios teriam, então, limites instituídos de modo arbitrário, condicionados pela dispersão superficial de seus componentes materiais, e não por sua participação como lugar, numa matriz histórica de movimento (Beneš & Zvelebil, 1999; Cobb, 1991).

A questão das ocupações humanas no Quadrilátero Ferrífero

A historiografia do território mineiro apresenta a região do Quadrilátero Ferrífero, as Minas de outrora, como um ambiente pouco propício à instalação humana. Os indígenas, detentores de supostas limitações evolutivas e tecnológicas, seriam mais afetados por esse ambiente. Esse contexto foi recorrentemente utilizado na bibliografia para justificar a pequena ocorrência de grupos indígenas na região, quando dos primeiros desbravamentos e durante o período colonial. Alguns autores, por outro lado, reúnem relatos sobre a presença de pequenos grupos de indígenas, em bandos, distribuídos em baixa densidade ao longo da região mineira.

Os testemunhos históricos sugerem que as primeiras expedições rumo ao território mineiro, a partir dos sertões do São Francisco ou da Serra da Mantiqueira, se valeram dos conhecimentos indígenas do território. Os exploradores teriam sido guiados por indígenas à região das minas por seus caminhos (Abreu, 1979; Carrara, 2007). Os relatos sugerem que o conhecimento indígena acerca da paisagem regional foi compartilhado com as expedições que precederam e as que desencadearam as explorações auríferas. Como aponta Anastasia (2005:28):

“Essas expedições que partiam de São Paulo eram montadas com grande número de homens brancos, presença de religiosos e um número ainda maior de indígenas, que conheciam aquelas paragens inóspitas, eram indispensáveis na abertura de picadas e como guias no conhecimento das coisas do sertão, dos alimentos exóticos e tropicais.”

A ocupação histórica da região mineira tendeu à convergência em determinados lugares ou áreas, em detrimento de conjuntos de ações difusas na paisagem. Se, inicialmente, as explorações paulistas nas Minas se movimentavam constantemente ao longo de rios e córregos que apresentavam pintas ricas, na segunda hora desenvolveu-se uma tendência à maior fixação, a fim de permitir investimentos maiores na mineração e na prática agropastoril (Antonil, 1982; Vasconcelos, 1901).

O estabelecimento de minerações auríferas e, posteriormente, ferríferas na região, aprofundou a concentração de atividades, ocupações e trabalho em áreas onde a atuação dos agentes humanos estava voltada à obtenção de minérios.

As grandes fomes do final do século XVII e início do XVIII, resultado da priorização da exploração mineral em detrimento de atividades de subsistência, motivaram a consolidação das atividades agropastoris, notadamente no vale do Rio Paraopeba e médio/alto Rio das Velhas. A instalação de fazendas nessas áreas e a importação de víveres permitiu o efetivo abastecimento de víveres nas áreas das Minas, onde também tal atividade foi desenvolvida (Carrara, 2001).

Os caminhos utilizados no desbravamento, ocupação e realização de atividades no território das Minas tornam-se marcantes nesse cenário, pois constituem eixo de fluxo de pessoas e coisas terra adentro. Abreu (1979) e outros autores já descreviam a relevância dos caminhos antigos para o povoamento do território mineiro, destacando a manutenção de alguns deles ao longo do desbravamento e ocupação do território, já no período pós-contato (Carrara, 2007).

Foi por meio desses caminhos e de novos, oficiais ou extraoficiais, que se efetivaram as relações necessárias ao estabelecimento das ocupações, sejam pré-coloniais ou históricas. Esses muitas vezes foram estruturados, durante e após o período colonial, por meio da realização de obras viárias, forte instrumento de poder da metrópole, ou simplesmente pelo estabelecimento de inscrições simbólicas em seu curso (Almeida, 2007).

As pesquisas arqueológicas já realizadas na região das Minas, acadêmicas ou preventivas, vêm revelando importantes elementos na trama histórica nessa área. A maior parte dos dados gerados, atualmente, correspondem a levantamentos produzidos no âmbito de licenciamentos ambientais, sendo a sua contribuição indelével para a multiplicação de categorias e tipos de bens arqueológicos registrados na região.

Enquanto um sem-número de pesquisas vinha identificando vestígios históricos em abundância, o estudo ambiental relacionado à implantação da Mina de Capão Xavier (Nova Lima/MG) evidenciou bens pré-coloniais, entre os quais material cerâmico e lítico, em cavidades em minério de ferro. (Baeta & Piló, 2005; B.P. Arqueologia, 2006)

Nas pesquisas subseqüentes, o contexto arqueológico colocava a possibilidade de que as cavidades ferruginosas poderiam ter sido ocupadas de modo mais sistemático por grupos humanos. A identificação de vestígios pré-coloniais e históricos em cavidades e abrigos ferruginosos denotou que esses locais foram utilizados para fins distintos no passado.

Em muito maior proporção, multiplicaram-se os sítios conhecidos relacionados às atividades minerárias, agropastoris, viárias, núcleos urbanos, entre outros. A ocupação do território aurífero permitiu a ampla dispersão de densa rede de lugares relevantes à trajetória histórica de Minas Gerais e ao estabelecimento de uma paisagem permeada por ela.

No presente estudo, foram consultadas 16 fontes relacionadas à produção acadêmica e ao licenciamento ambiental, que permitiram a enumeração e localização espacial de cerca de 300 sítios arqueológicos, principalmente na área de estudo (B.P. Arqueologia, 2004, 2006; Brandt, 2008; Delforge, 2010; M.C. Consultoria, 2010, 2011; Nicho, 2010; Ecology, 2012; Lume, 2011; 2013, 2014a, 2014b, 2015; Sete, 2010; 2011; 2012; Figura 3).

Os sítios caracterizados em cada fonte foram classificados, quando possível, quanto à sua categoria cronológica: se pré-colonial (antes do contato) ou histórico (após o contato), sua exposição (em/com abrigo ou a céu aberto) e o tipo de sítio ou de vestígio componente. Características tecnofuncionais e econômicas predominantes nem sempre são passíveis de serem apreendidas, o que se reflete em parte dos sítios compilados. Buscamos, então, atribuir tipos aos sítios, também em razão de suas características tecnológicas predominantes, quando não foi possível realizar uma categorização de base tecnofuncional para os vestígios.

Contam-se, nas fontes acessadas, 297 sítios arqueológicos, dos quais trinta e seis são pré-coloniais, oito são mistos (pré-coloniais e históricos), 195 são históricos, e para os demais cinquenta e oito não foi possível atribuir uma categoria devido à ausência de informações específicas. Distribuem-se por 18 municípios na área de estudo proposta (Tabela 1, Figura 3).

Tabela 1 - Quantidades de tipos de sítios arqueológicos por município.

Município/Tipo	Pré Colonial				Históricos											Desconhecido	Total Geral			
	Lítico	Cerâmico	Rupestre	Lito-Cerâmico	Mineração	Atividade rural	Fazenda	Acampamento	Estruturas/Sistema viário	Estrutura de pedra	Estruturas habitacionais	Núcleo Urbano	Estruturas de adução	Fábrica	Religioso			Estrutura Ferroviária	Geração	
Belo Horizonte	1			1	2			2		1										7
Belo Vale					1	3	6		1		1	1				1				14
Bonfim	1																		5	6
Brumadinho	1	1	2		18	10	10	4	6	1	1	2		1			1		4	62
Congonhas			1																17	18
Ibirité				1				3		1										5
Itabirito	6	2	2	1	26	10	4	3	1	5			2							62
Itatiaiuçu		2				4					2									8
Jeceaba									1										21	22
Moeda		1				1	6		3		2	2			1				2	18
Nova Lima	7	5		2	15	4	2	11	3	2	1		1						1	54
Ouro Preto														1						1
Raposos																			1	1
Rio Acima	1				2	1	1													5
Rio Manso																			5	5
São Brás do Suaçuí																			2	2
Santa Bárbara	1		3	1																5
Sarzedo		1																		1
Total Geral	16	14	8	6	64	33	29	23	15	10	7	5	3	2	1	1	1	1	58	297

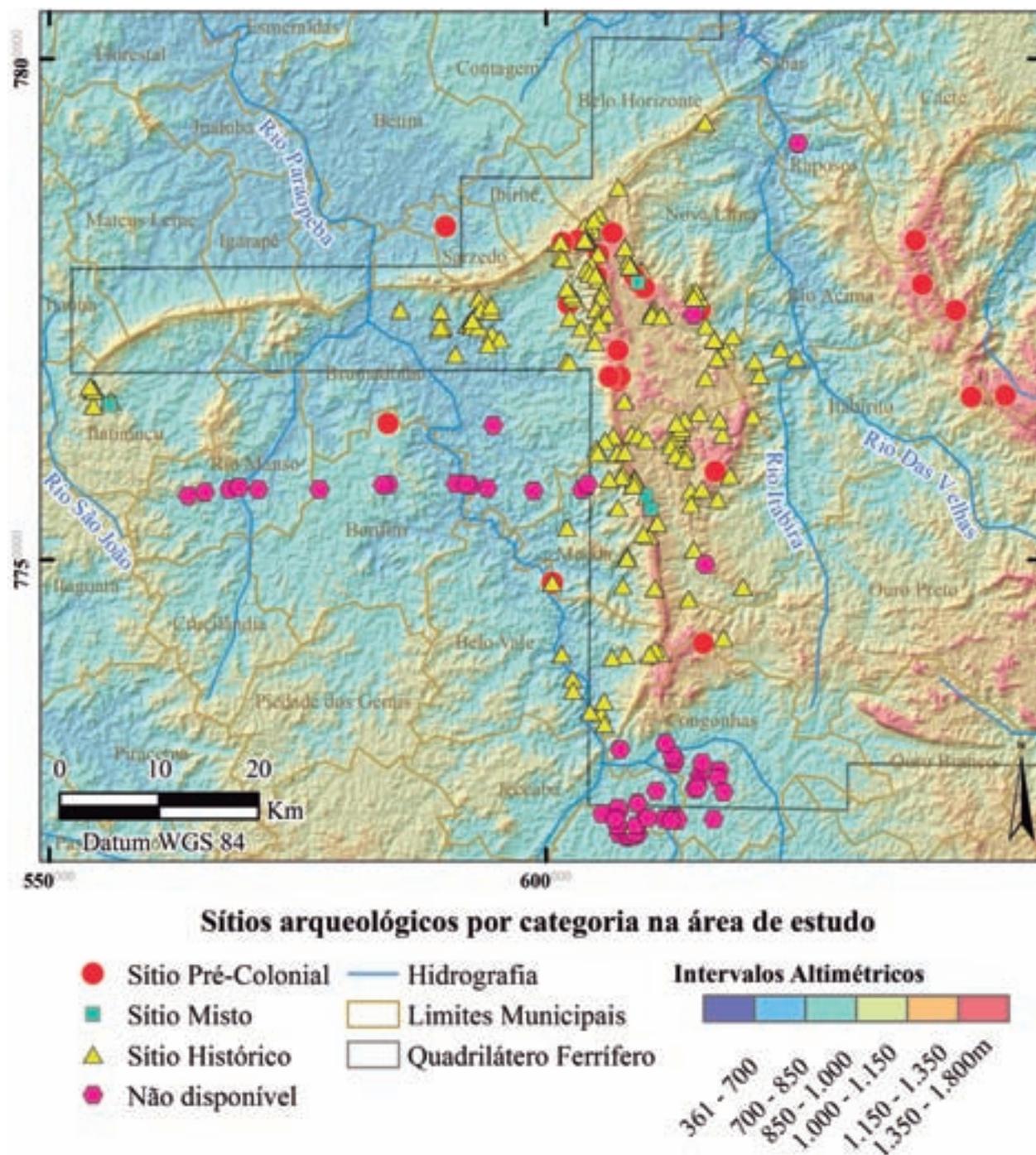


Figura 3 - Sítios arqueológicos por categoria na área de estudo.

Considerando os tipos de vestígios presentes em cada sítio, em relação aos pré-coloniais e aos mistos, predominam os sítios líticos (16), seguidos pelos cerâmicos (14), rupestres (8) e lito-cerâmicos (6). Desse total, trinta e três estão associados a abrigos ou cavidades (sendo 10 líticos, 9 cerâmicos, 8 rupestres e 6 lito-cerâmicos), e os demais onze estão a céu aberto.

Em relação ao período histórico, na amostra analisada, predominam os sítios de mineração (64) que caracterizam explorações auríferas e ferríferas pretéritas. Fazendas (29) e vestígios que caracterizam variados tipos de atividades rurais e agropastoris (33) somam sessenta e dois. Sítios compostos por elementos indicativos de ocupações temporárias e acampamentos históricos são vinte e três (23), seguidos pelos relacionados a estruturas e sistemas viários (15). Além desses, ocorrem estruturas de pedra cuja tipologia funcional não pôde ser estimada (10), núcleos habitacionais rurais (7) e urbanos (5), estruturas de adução (3), fábricas (2), líticos, religiosos, estruturas ferroviárias e de geração de energia (todos contando com 1 sítio cada). Desse total, vinte se encontram em abrigos ou cavidades naturais.

Sintetizamos, das fontes consultadas, sítios arqueológicos dispersos pela área de estudo, com concentrações de tipos de vestígios em alguns locais na paisagem, notadamente nas terras altas. Os sítios pré-coloniais da amostra se encontram predominantemente em abrigos e cavidades, em oposição aos sítios a céu aberto. Já os sítios históricos, também com maior densidade nas áreas serranas, estão majoritariamente a céu aberto, havendo pequena quantidade de vestígios em áreas abrigadas e cavidades.

É provável que a maior densidade de sítios arqueológicos identificados nas áreas serranas seja influenciada pela concentração dos estudos dos licenciamentos ambientais nessas áreas. No entanto, a quantidade de sítios na amostra já fornece informações suficientes para uma abordagem inicial.

Vários desses já sofreram impactos ou foram suprimidos em razão da implantação e operação de empreendimentos, notadamente os minerários. Tal razão não pôde ser concretamente alcançada por meio das fontes consultadas, sendo necessários estudos mais aprofundados para que se conheça a quantidade exata de sítios impactados e preservados. Sabemos, por outro lado, que a maior parte deles se encontra em franco risco de destruição por projetos de desenvolvimento e pela expansão de áreas urbanas e loteamentos.

Outros processos atuam na degradação e/ou obliteração, supressão e desestruturação de estruturas arqueológicas, afetando as formas com que essas se apresentam. Nesses termos, os sítios reunidos aqui consistem numa assembleia de lugares que não caracteriza a totalidade. A amostra apresentada configura uma fração considerável, mas que denota concentrações de sítios nas áreas onde ocorreram os levantamentos aqui sintetizados. Há vazios, porém, nos quais não se conhece a realidade arqueológica e cujo potencial é acentuado por inferência às proporções nas áreas vizinhas.

A amostra apresentada congrega elementos de diversos períodos históricos e várias organizações tecnológicas. Esses atributos carregam informações relevantes à compreensão abrangente da trajetória histórica de ocupação do Quadrilátero Ferrífero, no âmbito da paisagem.

Um momento inicial? Sítios rupestres e sua distribuição

Os nove sítios com arte rupestre no Quadrilátero Ferrífero se encontram em abrigos sob rocha usualmente quartzítica. Todos possuem grafismos rupestres pintados em seus suportes rochosos recorrentemente subverticais, variando a quantidade de figuras e também a densidade de ocorrência. As figuras pintadas são predominantemente zoomórficas, ocorrendo também geométricas e antropomorfas esquematizadas, usualmente associadas às primeiras. Os grafismos de alguns desses sítios foram atribuídos à Unidade Estilística Tradição Planalto (Siqueira, Mota, & Prous, 1989; SEMAD/IEF, 2007; M.C. Consultoria, 2010).

Esse conjunto gráfico apresenta ampla dispersão no território mineiro, pela Região Central, com concentrações nas regiões de Lagoa Santa e Serra do Cipó, e Região Norte, nas de Diamantina, Serra do Cabral e Montes Claros. Seus aspectos estilísticos principais são a expressão de temática zoomórfica, incluindo algumas figuras semelhantes a cervídeos, outros quadrúpedes e peixes, frequentemente acompanhados de figuras antropomórficas pouco naturalistas, com notável esquematização, e possui formas distintas de realização ao longo do tempo (Linke & Isnardis, 2008).

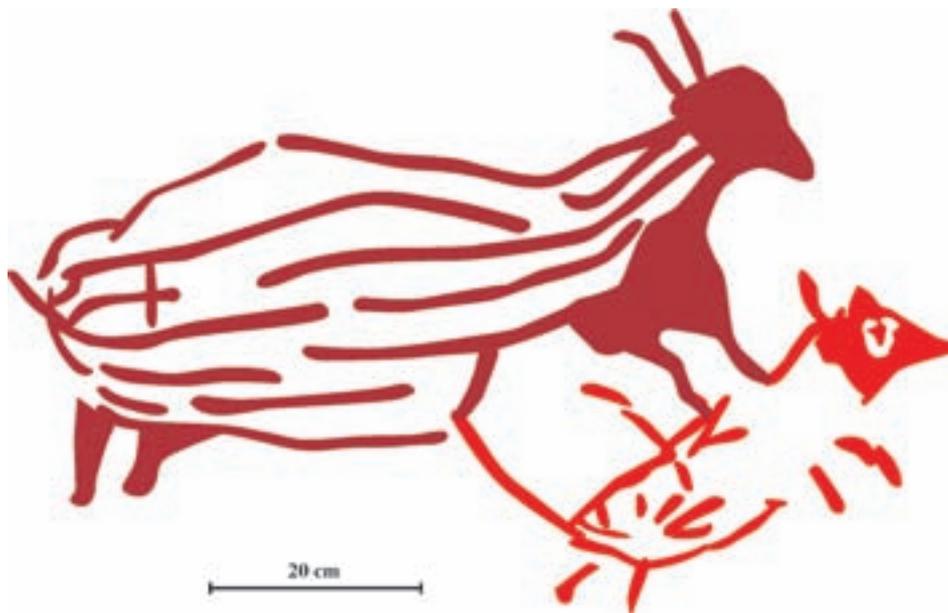


Figura 4 - Grafismos rupestres zoomórficos digitalizados a partir de fotos dos Abrigo do Campo. Serra de Capanema/MG. Digitalização: Rogério Tobias Junior.

As pesquisas em Santana do Riacho recuperaram datas que permitiram a inserção dos grafismos vinculados à Tradição Planalto num intervalo temporal mais restrito. A presença blocos pintados entre estratos arqueológicos datados permitiu a obtenção de cronologias entre 4.340 e 3.990 antes do presente (AP) e também após os 2.000 AP. Figuras mais antigas foram identificadas, mas não puderam ser atribuídas ao conjunto em foco (Prous & Baeta, 1992/3).

A arte rupestre conhecida no Quadrilátero, vinculada a esse conjunto, pode também inserir-se nesse lapso de tempo, com produção a partir dos dois últimos milênios até 4.300 AP. Considerando essa cronologia, os grafismos rupestres consistiriam nos vestígios antrópicos de maior antiguidade até o momento identificados na área de estudo.

Na região pesquisada, os sítios rupestres estão distribuídos em diversas porções dos compartimentos serranos, desde áreas de cumeada, como o Abrigo do Pico (próximo ao Pico do Itabirito – Itabirito/MG), pelas vertentes, como a Lapa do Boneco (Serra de Capanema, Itabirito/MG) e o Abrigo Retiro das Pedras (Serra da Calçada, Brumadinho/MG) até as porções inferiores, como o Abrigo Casa Branca (Serra da Calçada, Brumadinho/MG). O domínio visual abrangente da paisagem a partir dos sítios é um atributo comum (Figura 5).

Essa amplitude visual permite que, de um abrigo com pinturas e das feições do entorno, se tenha conhecimento de parte da paisagem numa distância de até 15 quilômetros. São frequentemente visíveis partes das serras em tela e feições marcantes do entorno de sítios rupestres (Figura 5 e 6).

A inserção na paisagem dos sítios rupestres listados mostra que se situam nos limiares da intervisibilidade. Sugere, então, que sua situação paisagística está associada às possibilidades locais de domínio visual e de posicionamento ao longo de faixas de terreno preferenciais para o movimento entre os sítios. Estariam relacionados pela recorrência estilística e também por propiciarem cobertura visual abrangente e sequencial de faixas do terreno mais regulares como cumeada e platôs, e de porções acidentadas da paisagem.



Figura 5 - Vista de extensa faixa da Serra da Moeda a partir do Abrigo do Pico, Itabirito/MG. Foto: Rogério Tobias Junior.

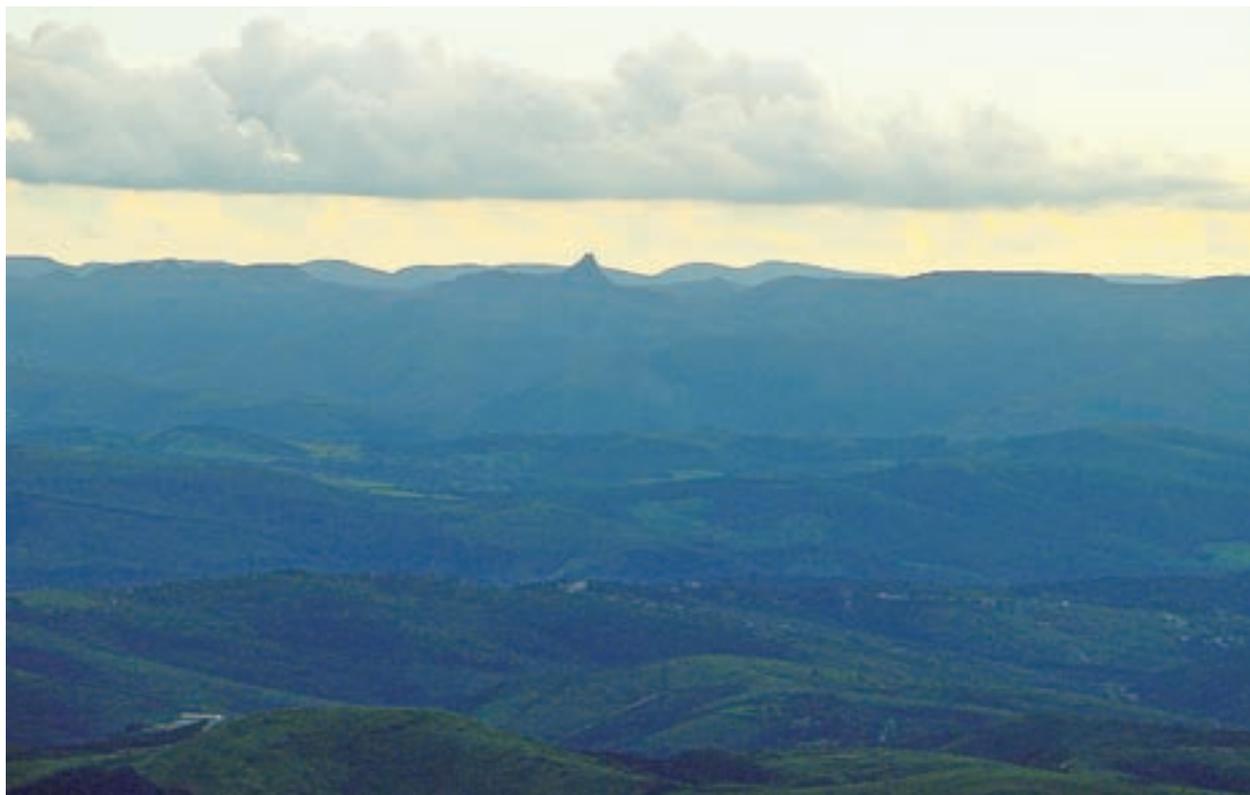


Figura 6 - Vista do Pico do Itabirito a partir da Serra de Capanema/MG. Foto: Rogério Tobias Junior

Colocamos, assim, a possibilidade de que a visibilidade inter-sítios e entre esses e porções específicas da paisagem seja um fator preponderante para a investigação dos sítios rupestres na área de estudo. A recorrência desses atributos sugere que tivessem relevância no rol de escolhas das populações pré-coloniais.

As distâncias a pé entre os sítios, acima dos 15 km em linha reta, poderiam ser vencidas num dia de caminhada. Nesses termos, esses lugares se colocam como locais de realização de atividades específicas relacionadas à produção rupestre, acampamentos ou abrigos rápidos às intempéries, ao longo de um sistema de movimento, deixando baixa densidade de vestígios. Faixas de cumeada, platôs e bordas de compartimentos serranos caracterizariam caminhos específicos, enquadrados em suas faixas de domínio visual. O posicionamento relativo dos sítios denota que cada um, dentro das possibilidades morfológicas da paisagem, permite a visualização de fragmentos adjacentes dela, proporcionando um conhecimento dinâmico a partir de fluxos de vista distribuídos ao longo de caminhos entre os vértices, caracterizados pelos sítios.

A amostra analisada sugere a maior mobilidade dos autores das figuras e o conhecimento abrangente da paisagem, consequência prática e performativa do próprio movimento. Isso pode explicar a baixa densidade de sítios rupestres na área de estudo e o fato de serem restritas as áreas de ocorrência de suportes rochosos favoráveis à realização/conservação de vestígios pintados, usualmente quartzitos. Seriam, enfim, focos específicos de ocupação relacionados a um sistema

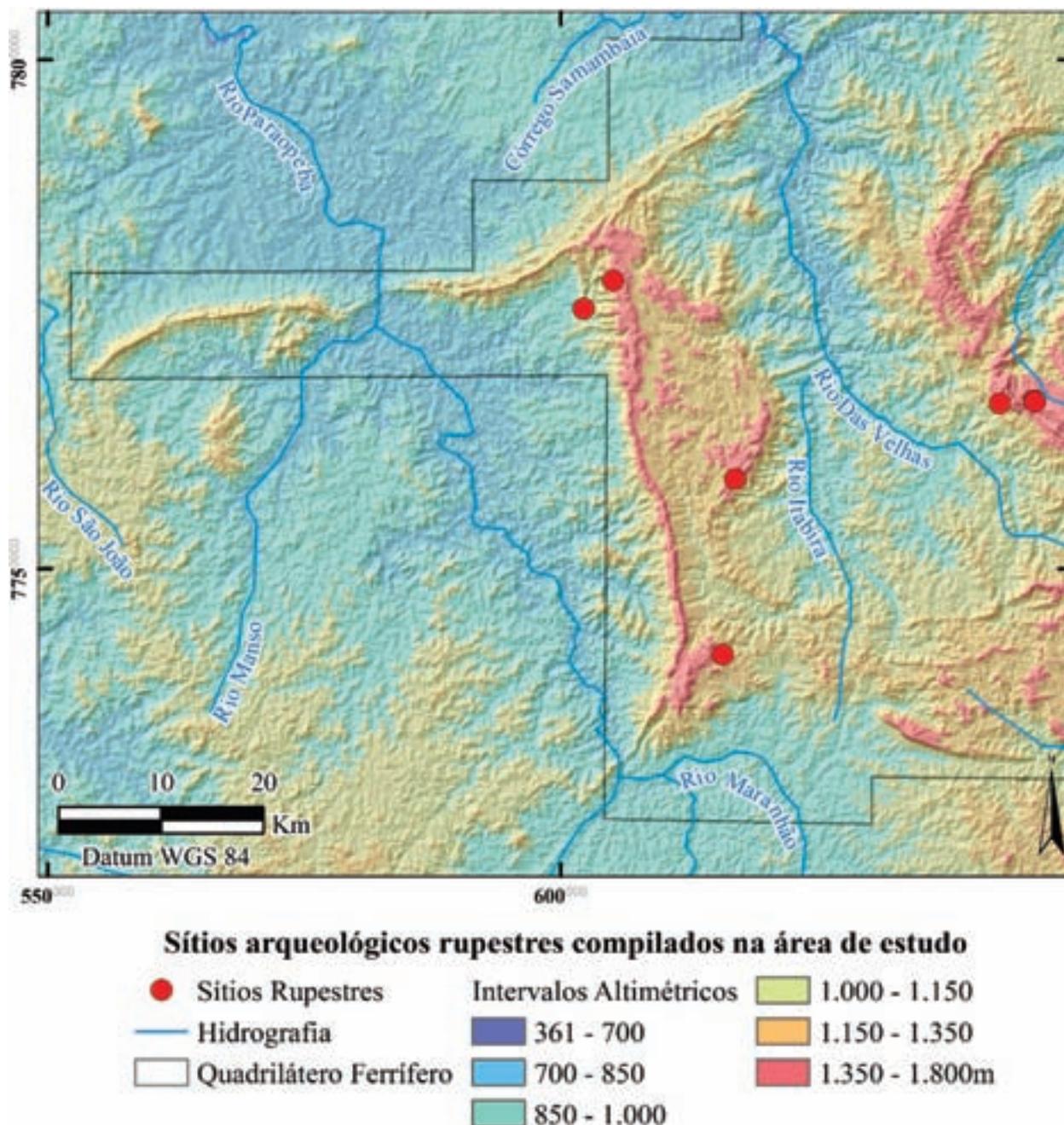


Figura 7 - Sítios rupestres compilados na área de estudo.

de movimento pré-colonial que se apropriou desses locais com visibilidade ampla para estruturar fluxos específicos na paisagem.

O cenário colocado discorre numa tendência à difusão das atividades que deixam menor densidade de vestígios arqueológicos. As características apontadas, no entanto, elucidam apenas parte dos problemas envolvidos no entendimento das formas de vivência e da percepção pretérita dessa paisagem. A seguir, trataremos especificamente de outras categorias de vestígio pré-colonial identificados na área de estudo, na busca da ampliação desse contexto.

Sítios cerâmicos, líticos e lito-cerâmicos na paisagem das serras

Durante as pesquisas relacionadas ao licenciamento ambiental da Mina Capão Xavier, no município de Nova Lima, já em 2003, pela primeira vez se registrou um sítio arqueológico pré-colonial em cavidade de minério de ferro em Minas Gerais, com material cerâmico e lítico (B.P. Arqueologia, 2004; 2006). Os licenciamentos de empreendimentos posteriores foram influenciados pelos achados nas Grutas Capão Xavier I e II, elevando o número de sítios arqueológicos com esses vestígios na área de estudo.

Baeta e Piló (2005) realizaram uma primeira síntese das pesquisas relacionadas aos licenciamentos ambientais, revertendo o anterior contexto de exclusividade de ocorrência de sítios rupestres. O registro de elementos cerâmicos e líticos evidenciou um repertório material que redirecionou os modelos de ocupação da região do Quadrilátero Ferrífero, considerando as atividades humanas em abrigos e cavidades.

Outros levantamentos permitiram a ampliação dessa amostra, com a caracterização de novos sítios arqueológicos pré-coloniais semelhantes. O material lítico lascado mais frequente é o quartzo hialino, translúcido e leitoso, que se apresenta por meio de lascas uni e bipolares, núcleos e instrumentos (Figura 8). Em menor proporção, ocorrem lascas e núcleos de hematita compacta, pré-formas de lâminas de machado e instrumentos brutos como batedores, quebra-cocos e bigornas (Figura 9).

A cerâmica (Figura 10 e 11) recorrentemente aponta para o uso de potes com capacidades volumétricas entre 3 a 5 litros aproximadamente, alisados, usualmente globulares, hemisféricos ou cônicos, roletados e/ou modelados, com marcas de uso, em particular, depósitos de fuligem evidenciando uso ao fogo. Em alguns sítios, como RM-23 (PE Serra do Rola Moça, Brumadinho/MG), ocorrem fragmentos cerâmicos de maior porte, com espessura de até 12 mm, que podem



Figura 8 - Núcleo (esquerda) e lasca unipolar (direita) de quartzo identificados na cavidade RM-22 (Serra do Rola Moça, Brumadinho/MG). Foto: Rogério Tobias Junior.



Figura 9 – Batedor/bigorna identificado na cavidade RM-13 (Serra do Rola Moça, Brumadinho/MG). – Foto: Rogério Tobias Junior



Figura 10 – Faces externa (esquerda) e interna (direita) de fragmento cerâmico identificado na cavidade RM-01 (Serra do Rola Moça, Brumadinho/MG), com marcas de uso (Lume, 2014b).



Figura 11 - Fragmento cerâmico da cavidade RM-22 (Serra do Rola Moça, Brumadinho/MG). Foto: Rogério Tobias Junior.

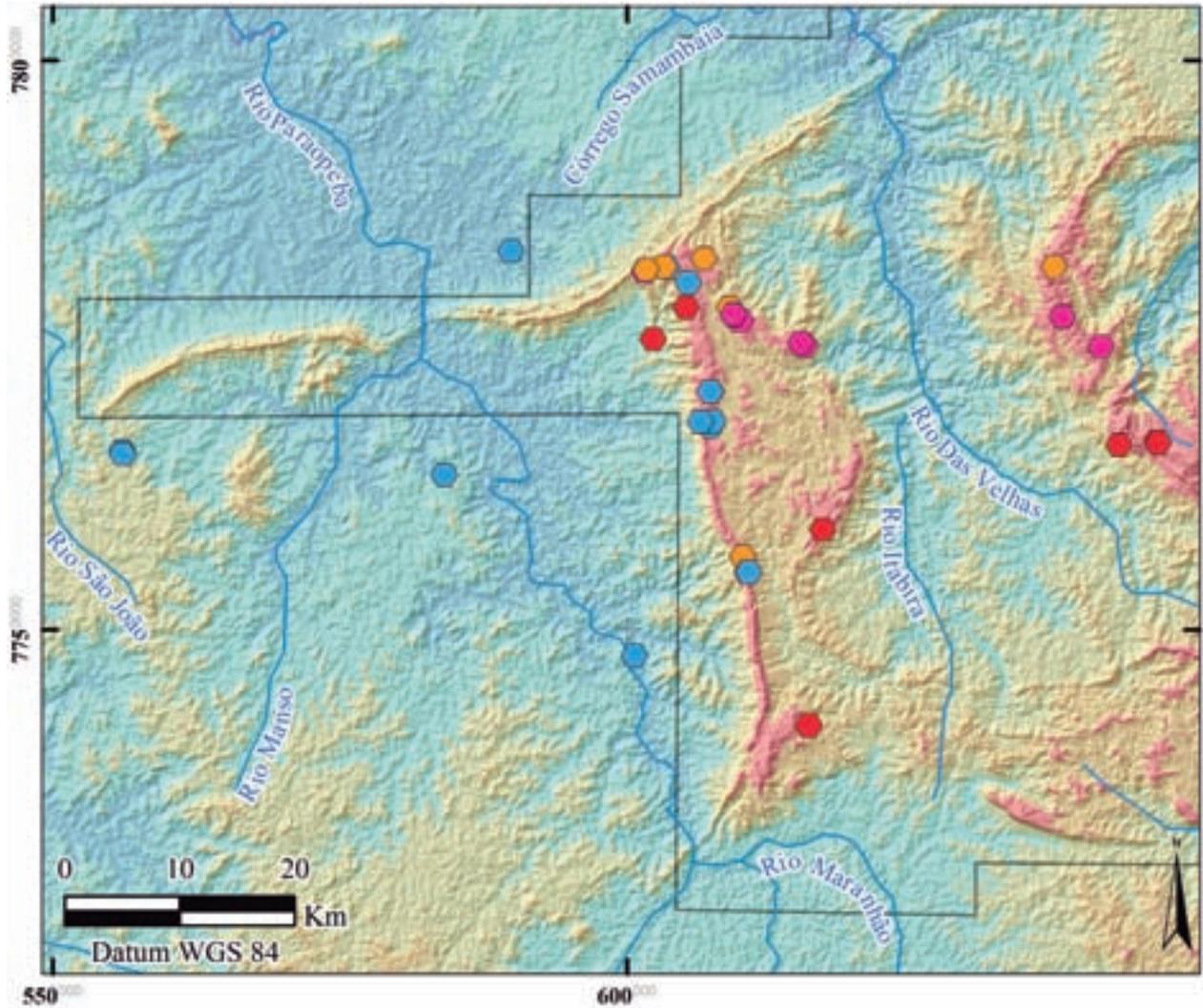
testemunhar a utilização de potes com dimensões mais avantajadas (Lume, 2014b). A maior parte desse material pré-colonial é encontrado em pequena densidade superficial, sendo notável a sua ocorrência subsuperficial.

As escavações relacionadas a resgates arqueológicos, usualmente integrais ou de extensa abrangência, obtiveram, além de contextos em estratigrafia, elementos para datações radiocarbônicas. As datas obtidas nos resgates dos sítios Gruta Capão Xavier I e II, Capitão do Mato e Várzea do Lopes, inseriram esses vestígios num horizonte cronológico mais preciso.

B.P. Arqueologia (2006) sugere que as Grutas Capão Xavier I e II podem ter sido ocupadas em três momentos distintos, separados cronológica e estratigraficamente, havendo registros de presença humana intermitente desde pelo menos cerca de 1.540 AP até cerca de 180 AP.

Os dados dos sítios Capitão do Mato (Serra de Itabirito, Nova Lima/MG) e Várzea do Lopes (Serra da Moeda, Itabirito/MG) ampliaram o conhecimento e dispersão dos horizontes propostos pelos autores. Os momentos de ocupação registrados nesses sítios, obtidos através das informações constantes na documentação relativa aos seus resgates, podem ser assim sintetizados, partindo das interpretações iniciais feitas por B.P. Arqueologia (2006):

- No momento mais antigo, carvões datados das grutas Capão Xavier I e II indicam um intervalo de ocupação entre 1.540 e 1.250 AP, com datas por volta de 1.380 AP, obtidas



Sítios arqueológicos pré-coloniais por tipo de vestígio na área de estudo



Figura 12 - Sítios pré-coloniais por tipo de vestígio na área de estudo.

por termoluminescência a partir de fragmentos cerâmicos. A esse intervalo corresponderia parte da cerâmica das amostras dessas pesquisas, assim como as peças líticas bifaciais, notadamente uma ponta e uma pré-forma, de quartzo;

- O momento intermediário se distribui entre 1.060 AP e 390 AP, e contempla cerca de 650 anos com ocupações pré-coloniais até o contato. Nele ocorre a maior quantidade e densidade registrada de vestígios arqueológicos nos abrigos, tanto no interior quanto nas entradas e áreas externas. Há cerâmica com morfologia globular ou cônica, de pequeno e médio porte, associadas a lítico lascado (principalmente quartzo) e polido;
- O momento mais recente registrado se enquadra entre 280 AP e o presente, abrangendo o período pós-contato. Conta com cerâmicas feitas em torno, atribuídas à produção histórica 'neobrasileira', louças (faianças finas, faianças e porcelana, com e sem decoração), vestígios de metal, entre outros (Sete, 2010).

Os três intervalos principais de ocupação evidenciados pelos resgates desses sítios revelam que populações ceramistas ocuparam os abrigos da região de maneira intermitente, pelo menos entre 1.500 AP e 390AP. A intermitência se embasa na baixa densidade de material arqueológico.

Ao longo de cerca de 1.200 anos, os grupos portadores dessa cerâmica realizaram atividades de maior dispersão, que implicavam na predominância do movimento de poucas pessoas por uma vasta área, aproveitando-se da situação desses abrigos ao longo de seu cotidiano para armazenar sua cerâmica, proteger-se das intempéries, tratar a caça e o material coletado, entre outros. Baeta e Piló (2005) sugerem que as atividades realizadas enfocavam o aproveitamento de recursos específicos das áreas ferruginosas, como a flora e matérias-primas, em incursões menos duradouras.

Outros 15 sítios pré-coloniais em cavidades contêm vestígios cerâmicos provavelmente relacionados aos mencionados grupos ceramistas em razão da semelhança técnica e morfológica dos vasilhames. Alguns apresentam material lascado em quartzo e hematita como os descritos.

O contexto arqueológico pré-colonial na área de estudo relata pequena ocorrência de sítios a céu aberto. Isto pode se dar em função de pesquisas no âmbito preventivo, com enfoque para áreas alvo de mineração, bem como uma priorização de áreas abrigadas para estudos acadêmicos, visto que esses locais apresentam maiores possibilidades de encontrar vestígios bem preservados. Em todo caso, os sítios líticos a céu aberto são usualmente descritos como ocorrências nas fontes citadas, e há somente 5 sítios cerâmicos com essa exposição registrados. Todos se encontram nas cotas mais baixas na área de estudo, em locais de relevo ondulado e suave, e apresentam vestígios cerâmicos semelhantes a alguns encontrados nas cavernas.

Estima-se que as faixas serranas da área de estudo se inseriam em territórios pré-coloniais de maior abrangência e neles integravam zonas relevantes para a obtenção de recursos e execução de práticas particulares. Nessas áreas foram realizadas atividades diversas, para algumas das quais seria necessário o uso das áreas das cavidades, seja para pernoite, refúgio, preparação e retoque de instrumentos, armazenamento de potes, líquidos e alimentos, caçados e coletados. As predominantes dimensões pequenas dos vasilhames cerâmicos sugerem, por suas condições de portabilidade, que o uso destes artefatos podia estar ligado à movimentação constante dos grupos indígenas, assim como a uma utilização efêmera, ainda que recorrente, das cavidades.

A distribuição dos sítios cerâmicos, líticos e lito-cerâmicos ilustra a existência dos pontos de convergência das atividades realizadas em algumas áreas ferruginosas. Encontram-se difusos nas cavidades e abrigos nas serras em foco, sendo recorrente a baixa densidade relativa de vestígios e a abundância de locais ocupados.

A sua inserção predominante, em áreas ferruginosas das terras altas, permite que tenham visibilidade abrangente, ainda que mais limitada que os citados abrigos rupestres (Figura 13).



Figura 13 – Vista do Pico do Itabirito (ao fundo e à esquerda) a partir da rodovia BR-040. Foto: Rogério Tobias Jr.

É possível visualizar feições marcantes na paisagem, incluindo aquelas no entorno de parte dos sítios pintados. A partir desses últimos, notadamente do Abrigo do Pico, os sítios cerâmicos e líticos e entorno são visíveis, inserindo-os num horizonte integrado parcialmente, ainda que de forma diacrônica, ao sistema de movimento associado aos primeiros.

Sua dispersão pela paisagem da área de estudo, ao longo de cerca de 1.200 anos, coloca-os em situação cronológica próxima à dos sítios rupestres, se considerarmos as datas relativas mais recentes atribuídas à Tradição Planalto, os últimos 2.000 anos. A produção rupestre em seus momentos mais recentes pode ter-se desenrolado em concomitância com as demais atividades, relacionadas aos vestígios líticos e cerâmicos descritos.

O movimento pré-colonial na área de estudo, contando com atividades difusas e descentralizadas, depende, para ser melhor compreendido, da identificação de novos sítios a céu aberto e também sob abrigo. Esperamos que os sítios a céu aberto, quando estudados, forneçam dados complementares a respeito desse sistema de movimento e ocupação e favoreçam uma investigação mais estreita das ocupações do Quadrilátero Ferrífero e suas formas específicas de expressão, seja por meio de seus vestígios materiais ou por sua participação na paisagem.

A contribuição das ocupações históricas à paisagem regional

Em artigo sobre o Caminho Velho, Guimarães (2009) procurou colocar em evidência o Vale do Paraopeba como rota de trânsito, por onde era possível acessar as comarcas de Vila Rica e do Sabará. Ele afirma que “*a partir do Vale do Paraopeba, estava-se tão perto de Sabará quanto de Vila Rica*” (2009: 5).

Naquela época, quando os caminhos ainda não estavam claramente demarcados, era imprescindível o reconhecimento de marcos na paisagem para a transposição de grandes distâncias. O autor destaca que “*tanto o Pico do Itabirito, quanto o Itatiaiuçu ou Pico da Serra da Piedade podem ser incluídos na lista de tais marcos*” (2009: 5). Para o autor, particularmente o Pico do Itatiaiuçu poderia ser utilizado como tal no trânsito pelo Vale do Paraopeba, uma vez que ele se destaca na silhueta da Serra Negra.

A rota realizada pela bandeira de Fernão Dias, em 1674, passando pelo Vale do Paraopeba no entorno da Serra Negra, põe em destaque essa região. Com a abertura do Caminho Novo, essa rota – que pertencia ao Caminho Velho – entra em desuso. Na historiografia mineira, ela sempre esteve relativamente ofuscada pela opulência histórica das Comarcas de Vila Rica, Sabará e Diamantina. Contudo, a presença daqueles bandeirantes na região, desde fins do século XVII, a coloca num ponto central para a história das Minas Gerais.

Os dados arqueológicos compilados parecem corroborar com grande parte dos relatos historiográficos acerca da ocupação histórica (pós-contato) nas Minas Gerais – e mais especificamente do entorno das Serras Negra, do Paraopeba e do Cachimbo.

A área enfocada engloba uma região cujo processo de ocupação histórico apresentou características mais rurais, se comparadas ao entorno imediato da antiga Vila Rica. Ainda que a região no entorno das serras em foco apresentasse alguns arraiais, nenhum deles tinha contornos de grande centro urbano, como era o caso de Vila Rica, Sabará ou Caeté. Desse modo, o que se observa é uma ocupação mais extensiva desse território, menos concentrada, porém com unidades bastante complexas em termos das estruturas que as compõem.

A análise dos dados levantados, considerando ainda o esquema distributivo dos diferentes tipos de sítio no mapa, nos sugere que a fronteira entre mineração e agricultura, no contexto ocupacional das minas, foi extremamente fluida (Figura 14).

Os sítios de mineração predominam, nos dados levantados, na vertente leste da Serra do Paraopeba – particularmente entre essa e a Serra do Itabirito – e no encontro da Serra do Cachimbo com a Serra Negra. Além disso, em termos de sua inserção no relevo, os dados indicam a predominância dos vestígios de mineração no topo e porções superiores das vertentes.

Um exemplo emblemático de sítio de mineração na área de estudo é o *Forte de Brumadinho*. Guimarães e outros autores (2002, 2003) demonstraram que as ruínas do forte estavam associadas a um grande complexo minerador. A fortificação construída em alvenaria de pedras de cantaria se destaca na paisagem por sua implantação no terço superior de um morro. Possui apenas uma passagem de entrada e em seu interior há uma edificação menor, também construída em pedra. Pelo seu porte e localização, é provável que se tratasse da sede administrativa de uma empresa de mineração. O sítio também contempla vestígios de talho a céu aberto e outras estruturas, como

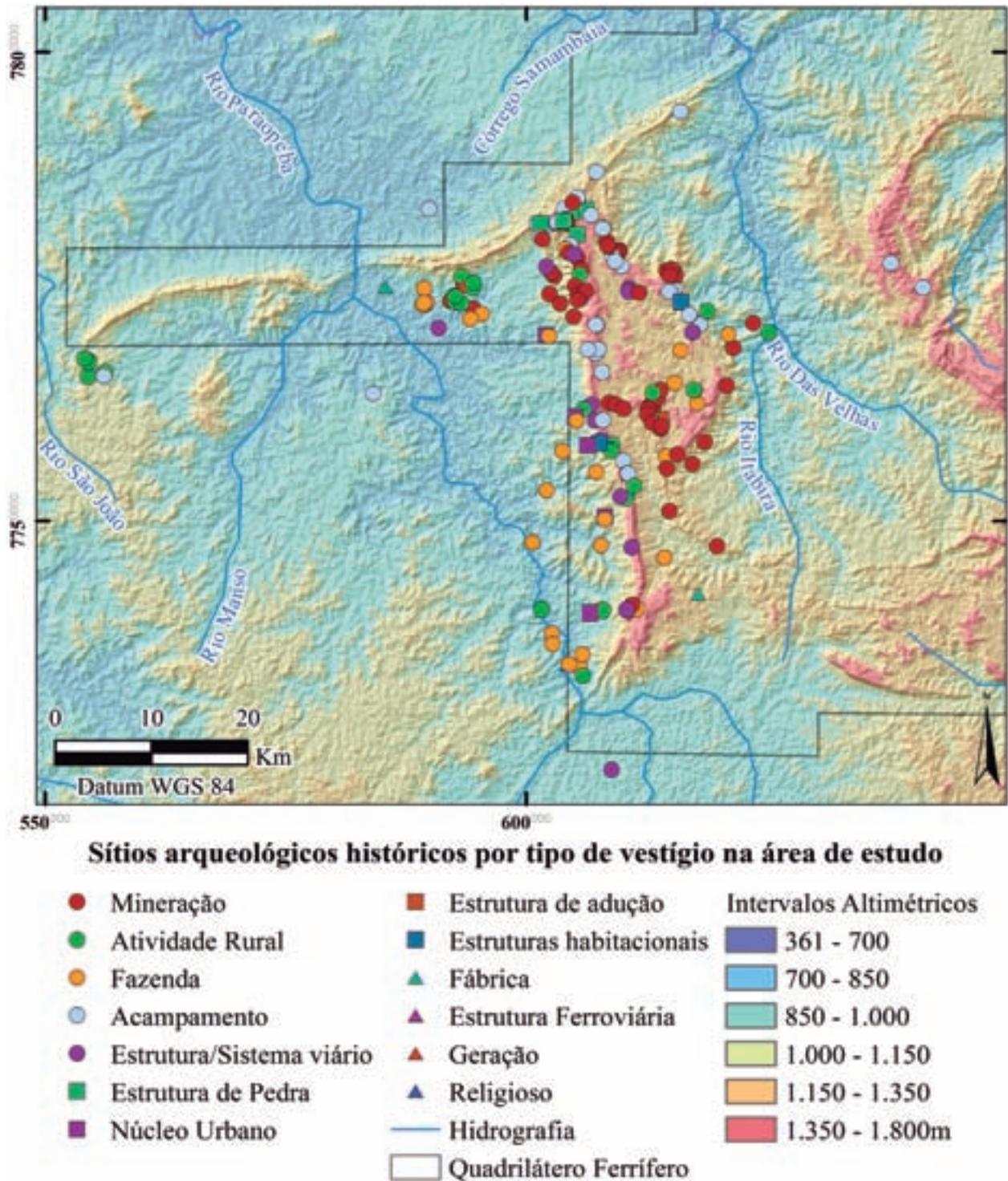


Figura 14 - Sítios arqueológicos históricos por tipo de vestígio listados na área de estudo.

canais, tanques e mundéus, associadas ao desmonte de morros e lavagem da lama. Complementam esse complexo diversas estruturas edificadas que serviam de habitação para os mineiros. Tratava-se de uma grande empresa de mineração, que vai encontrar ressonância apenas em sítios como o complexo de *Aredes* (Figuras 15, 16, 17 e 18) e da *Cata Branca* (Itabirito/MG) e outros no entorno de Ouro Preto.



Figura 15 - Edificação componente do Complexo de Aredes (Itabirito/MG). Foto: Rogério Tobias Junior.



Figura 16 - Janela remanescente de edificação em ruínas do Complexo de Aredes (Itabirito/MG). Foto: Rogério Tobias Junior.



Figura 17 - Galeria sob estrutura de adução para transposição de drenagem componente do Complexo de Aredes (Itabirito/MG). Foto: Rogério Tobias Junior.



Figura 18 - Vista parcial do complexo de Aredes. Ruínas à esquerda e cata de mineração à direita. Foto: Rogério Tobias Junior.

Vale a pena ressaltar que sítios como o Forte e Aredes apresentam estruturas e vestígios que se estendem desde as porções superiores da vertente até as inferiores, contando com elementos associados à lavagem da lama aurífera localizados nas porções inferiores, como os mundéus e canoas.

Os sítios de Fazenda ocorrem principalmente na média e baixa vertente, mais concentrados na porção oeste da Serra do Paraopeba, nas terras baixas, onde o relevo é suave a ondulado. Alguns exemplos desse tipo de sítio são a Fazenda Contendas e a dos Azevedo, em Moeda; a Fazenda do Barão e as Ruínas da Chacrinha dos Pretos, em Belo Vale (Brandt, 2008). No que diz respeito a outros sítios de contexto agropastoril, como os que indicam atividades rurais, não foi possível identificar recorrências por meio da amostra construída. Esses estão distribuídos de maneira homogênea na área de estudo e em diferentes porções da paisagem.

Destaca-se que as Fazendas comumente contemplam uma diversidade de estruturas, associadas ao beneficiamento de grãos e outros produtos que faziam parte de sua produção agrícola. Em geral, é possível encontrar sistemas hidráulicos complexos associados a engenhos e moinhos, cujo aproveitamento ainda incluía a abastecimento de água para a sede e outras edificações.

Destaca-se nesse contexto a *Fazenda Fortificada da Lagoa Velha* (Serra da Moeda – Ouro Preto/MG). São ruínas de uma fortificação em cujo interior há vestígios de edificações, e que se encontram às margens de uma estrada carroçável na Serra dos Mascates, já em terras altas.

Ainda que em densidades variadas, em razão de uma distinta organização das atividades na paisagem, as fazendas podem ser encontradas em praticamente toda a área contemplada nessa análise, inclusive nas áreas entre a Serra de Itabirito e Paraopeba, como a Casa de Pedra de Sapecado e Ruínas do Congonhas I. Além disso, os núcleos mineradores de grande porte contavam com pequenos arraiais para moradia dos mineiros, nos quais não era incomum haver comércio estabelecido e algum cultivo, ainda que incipiente.

A natureza multifacetada de alguns tipos de sítio já foi relatada na bibliografia arqueológica. Por exemplo, o sítio Capão do Lana, fora da área de estudo, conhecido como uma estalagem que teria funcionado às margens do *Caminho Novo*. Além da estalagem, o proprietário possuía uma lavra de topázio imperial (ainda ativa) e uma fazenda de víveres, cujos produtos eram destinados a centros urbanos (Pohl, 1976). O Capão do Lana, nesse sentido, nos fornece um exemplo do quão diversificadas poderiam ser essas unidades.

Os sítios de estruturas viárias ocorrem de forma predominante nos topos e altas vertentes das serras. São vestígios de estradas cavaleiras, tropeiras e carroçáveis, em grande parte apresentando calçamento de pedra. A sua ocorrência poderia ser uma referência à escolha por caminhos que utilizem predominantemente os topos das serras ou a um viés amostral. As instalações e sua inserção, por outro lado, sugerem tratar-se de soluções técnicas nos percursos para facilitar a transposição de trechos instáveis e acidentados.

Sítios desse tipo frequentemente estão associados a Fazendas e/ou Núcleos Mineradores. É o caso da *Estrada Cavaleira da Serra da Calçada*, cujos vestígios levam ao sítio *Núcleo de Mineração Tutameia II*. Essa estrada poderia fazer parte de uma malha viária que interligava diversas comunidades e fazendas da região (Brandt, 2008: 211).

O isolamento de parte do Vale do Paraopeba propiciou, por outro lado, a instalação de um empreendimento voltado à sonegação de impostos pagos à Coroa (Guimarães, 2007), conhecido



Figura 19 - Vista interna parcial do sítio Casa de Pedra de Sapecado. Fonte: Lume, 2015.

como a Casa de Moedas Falsas. A relevância desse sítio para a história regional é inegável e está impressa na paisagem. Até a década de 1730, a serra hoje conhecida como Moeda era então denominada Serra do Paraopeba. Apenas a partir da descoberta das atividades ilícitas na Serra do Paraopeba é que ela passou a ser identificada como Serra da Moeda, assim como nomes de um distrito e do próprio município onde se insere. Tal toponímia marca um momento de significação específica da paisagem atrelada ao imaginário em torno do empreendimento.

As ocupações históricas nas áreas de abrigos e cavidades reitera o uso desses locais para atividades esporádicas e temporárias. A presença em baixa densidade de fragmentos de louças, notadamente pratos, pires e xícaras, assim como de vidros e cerâmicas, coloca em destaque sua relevância como pontos de apoio a deslocamentos e abrigos temporários contra as intempéries, assim como para acampamentos. Sua localização predominante em áreas serranas os coloca em situação semelhante aos daqueles com vestígios pré-coloniais, com os quais dividem espaços em alguns casos. Por outro lado, nota-se uma preferência por locais mais iluminados, com entradas maiores e maior circulação de ar. Sua disposição próxima a lugares onde outras atividades eram realizadas, assim como de caminhos e vias de deslocamento, evidencia sua articulação às demais atividades e não devem ser analisados somente em seus aspectos locais. A exploração dessa articulação ainda é escassa na bibliografia arqueológica, que frequentemente trata esses locais de maneira isolada, o que diminui sua participação no sistema de ocupações e movimento pretéritos.



Figura 20 - Pico do Itabirito visto a partir da janela frontal da Casa de Pedra de Sapecado. Fonte: Lume, 2015.



Figura 21 - Aspecto parcial dos currais componentes do sítio Casa de Pedra de Sapecado. Fonte: Lume, 2015.

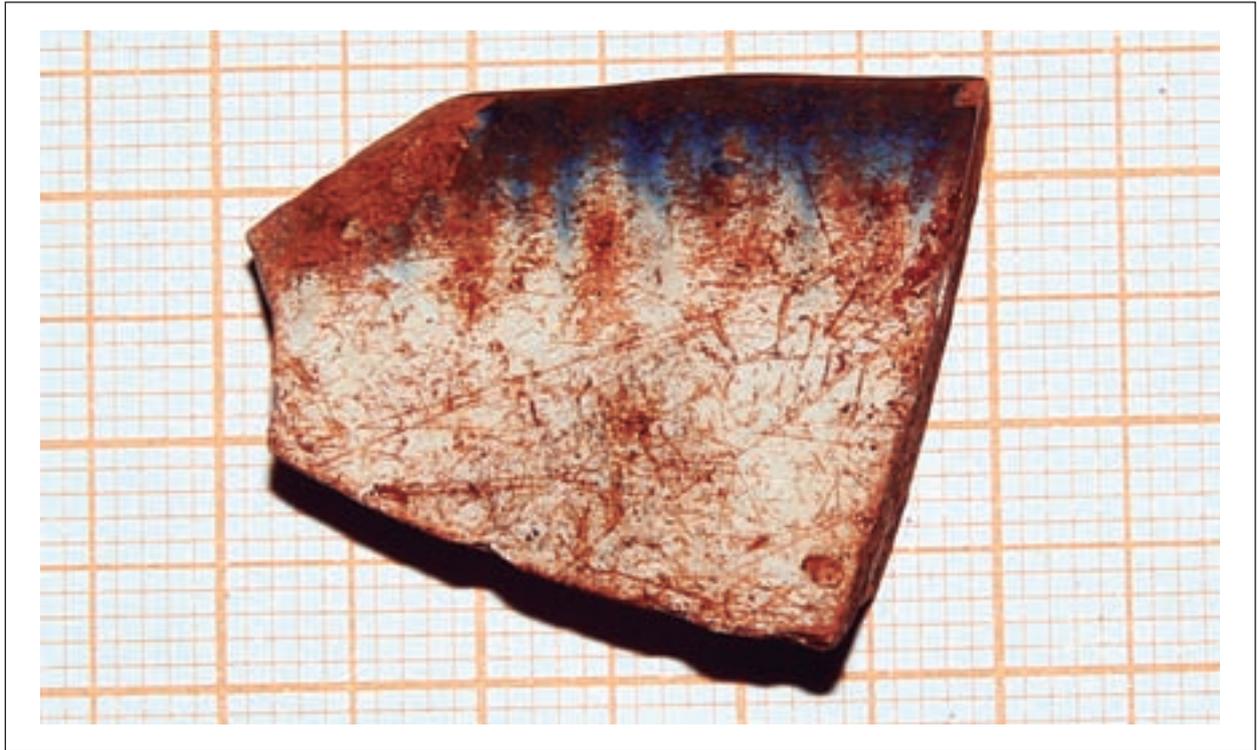


Figura 22 - Fragmento de borda de prato de faiança fina com decoração Shell edged na cavidade RM-08 (Serra do Rola Moça, Brumadinho/MG). Fonte: Lume, 2014b.



Figura 23 - Pote cerâmico com decoração plástica identificado no Abrigo Retiro das Pedras II (Serra da Calçada, Brumadinho/MG). Fonte: Lume, 2014b.

A área de estudo numa perspectiva sincrônica e diacrônica: caminhos e longa duração

Um olhar sincrônico à distribuição das atividades humanas pretéritas na área de estudo revela a ampla concentração de sítios arqueológicos nas terras altas, nas Serras do Paraopeba e de Itabirito, com menor densidade deles nas áreas entre essas e a Serra Negra. Desde sítios pré-coloniais em abrigos e cavernas até grandes complexos de mineração históricos denotam uma recorrência diacrônica de ocupação de alguns locais, mediante a amostra analisada. A Figura 24 traz a distribuição de todos os sítios levantados nas fontes pesquisadas.

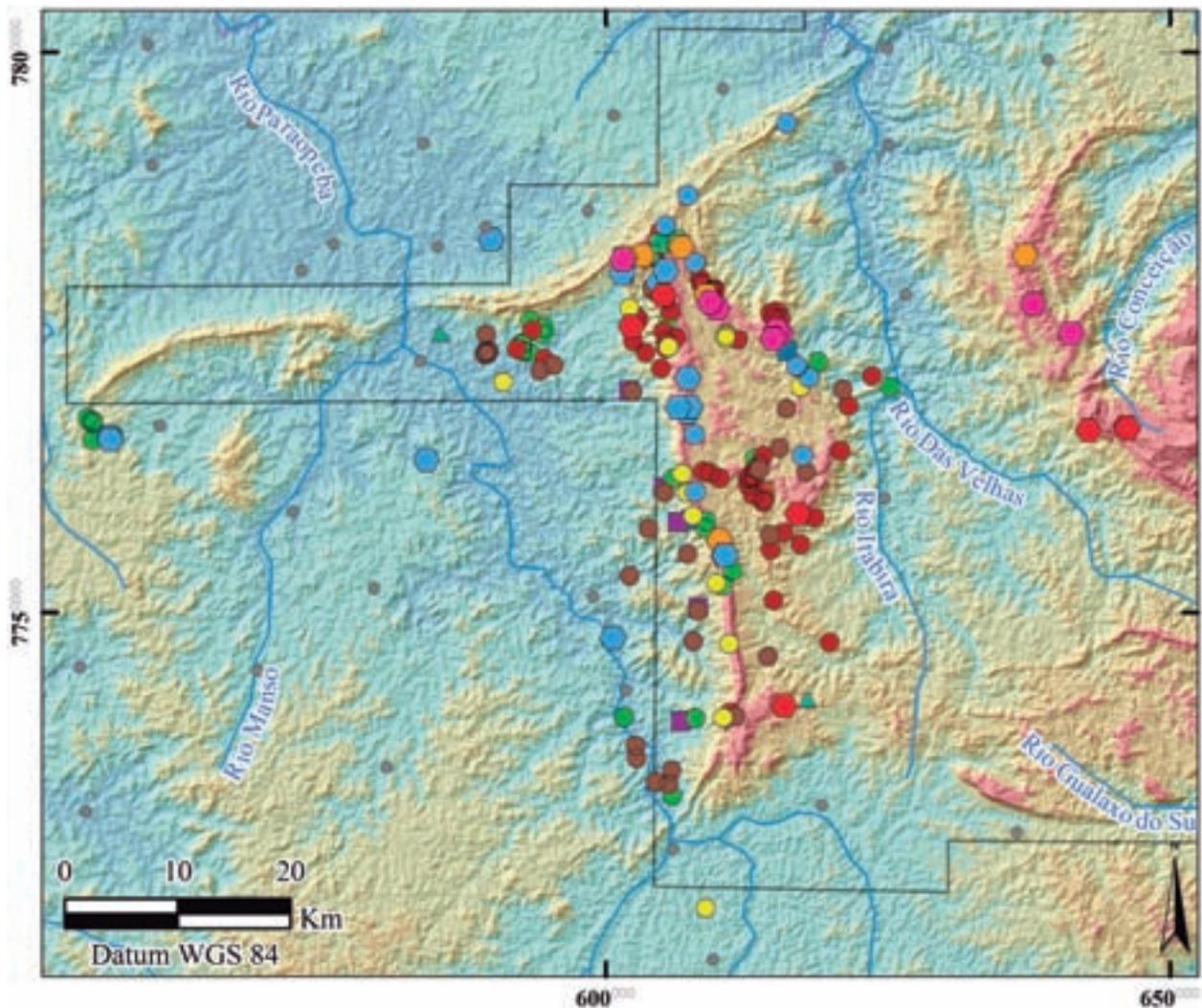
Os sítios arqueológicos listados indicam esquemas de distribuição de atividades que, apesar de se basearem em motivações distintas, apresentam recorrências e tendências comuns. Sua inserção principalmente em terras altas sugere a relevância dessas áreas ao longo de todo o período de ocupação da região. Por outro lado, demonstram também a maior ênfase das pesquisas consultadas nas áreas serranas, como já dito.

Ainda que tenhamos distintas atividades sendo realizadas, deve-se ressaltar a permanência de determinados aspectos relativos às ocupações humanas, que sugerem a manutenção de algumas escolhas ao longo do tempo, enquanto novas atividades foram sendo introduzidas na paisagem.

A inserção dos sítios rupestres em áreas mais elevadas, recorrentemente próximos a feições paisagísticas proeminentes, e sua distribuição denotam um momento inicial de vivência e percepção da paisagem fundamentado no conhecimento abrangente do território por meio de vistas distribuídas ao longo das amplas faixas de terreno que os interligam. Este enquadraria uma visão geral da área estudada, na qual se difundiram as atividades, com significados atrelados àquelas feições e lugares. Esses sítios e feições operaram como influxos ao longo de caminhos, por meio dos quais se pode regenerar o fluxo da estrutura perspectiva da paisagem experimentada pelos seus grupos autores. Demonstram, assim, conhecimento de uma escala específica dela, que gira em torno de seu universo de atividades, denominado ‘maestria prática’ (Gibson, 1986; Ingold, 2000).

A intervisibilidade proporcionada pelo posicionamento dos sítios e feições se estende por faixas do terreno que podem ser observadas a partir de percursos distintos e que sugerem, por sua disposição, que se tratariam de seções de interesse às ocupações pré-coloniais, inseridas no âmbito do domínio visual proporcionado pelos caminhos.

Os sítios cerâmicos e líticos conhecidos nas terras altas estão, em boa parte, no campo visual dos sítios rupestres ou dos caminhos que os interligam. Tal situação e sua cronologia os situam num intervalo entre a realização da arte rupestre e as ocupações históricas recentes. São marcados pela ocorrência de vestígios em baixa densidade e poucos lugares com maior concentração. Comparativamente aos sítios semelhantes conhecidos em outras regiões, como em Lagoa Santa, foram ocupados com menor frequência. Integram assim, um conjunto de atividades dispersas nas serras, relacionadas a outros locais, nas terras baixas, onde se encontram vestígios de assentamentos com maior densidade de material que sugerem maior estabilidade.



Sítios arqueológicos por tipo de vestígio na área de estudo



Figura 24 - Sítios arqueológicos conforme o tipo de vestígio, listados na área de estudo.

Tal organização converge com os relatos históricos do período do contato, que afirmam que na área de estudo haveriam pequenos grupos de indígenas circulando em razão de movimentos sazonais de agrupamento populacional e dispersão de bandos familiares menores. Está inserida num contexto de ampla dispersão territorial das atividades, e não exclusivamente se apropriando da área de estudo para a obtenção de recursos específicos, senão como parte de um movimento de habitação sazonal fundamentado na distribuição dos bandos e atividades na paisagem.

Essas correntes de movimento parecem estar relacionadas diretamente às situações de domínio visual e maestria prática desenvolvidas pelos autores dos grafismos rupestres, distribuindo-se de maneira incisiva na área de estudo. Sugerimos, assim, que os sítios rupestres e os demais pré-coloniais estão relacionados em suas formas de apropriação da paisagem, denotando manifestações de atividades distintas. Tais observações sugerem que a apropriação da paisagem no período pré-colonial regional atravessou um momento de conhecimento abrangente das feições paisagísticas, acompanhado de uma consequente organização das atividades na paisagem segundo os fluxos de vista proporcionados pelos caminhos entre feições e sítios.

Os relatos históricos destacam que a ocupação da área de estudo no período colonial ter-se-ia apropriado do conhecimento indígena acerca dos caminhos para se orientar e distribuir a população pela paisagem. Assim, os sítios históricos ter-se-iam estabelecido em função dos caminhos e de seu detalhamento, providos pela dinâmica de movimento pré-colonial.

Pelo menos num momento inicial, teríamos uma manutenção, ainda que com aspecto formal distinto, de faixas de território ocupadas em função dos processos de significação estabelecidos desde tempos imemoriais na área de estudo. Os sítios de mineração da amostra enfocam as terras altas, provavelmente, em razão da existência de jazidas primárias, mas tal constatação dependeu também de um conhecimento anterior da paisagem, estabelecido pelos grupos indígenas. Sítios rurais e agropastoris, por sua vez, inseriram-se de maneira oposta aos sítios de mineração, em situação semelhante aos sítios pré-coloniais a céu aberto, indicando que as áreas intermediárias e inferiores teriam sido foco da horticultura indígena e, posteriormente, da agricultura e criação de animais para abastecimento das áreas das minas, conforme relata a bibliografia. Uma rede de estruturas viárias que conectam esses lugares destaca a prevalência de determinados eixos de movimento na paisagem, que estão vinculados diretamente à forma prévia como essas atividades se distribuíram e organizaram ao longo do tempo.

O estabelecimento de ocupações históricas ao longo de caminhos pré-coloniais compreende um processo cumulativo de conhecimento sobre a paisagem regional que vai desde uma visão abrangente, proporcionada por ampla distribuição de atividades que envolvem dinâmica e menor fixação aos vértices, ao estabelecimento de lugares e atividades que implicam uma maior fixação e, assim, um domínio paisagístico de caráter menos abrangente, porém mais específico e direcionado a uma ou outra atividade, conforme o interesse dos agentes.

As ocupações humanas na área de estudo assim se desenrolaram de maneira interdependente, com envolvimento visual direto relacionado às formas pré-coloniais de percepção da paisagem regional, e que teriam influenciado na organização histórica das atividades.

A matriz de movimento composta pelos sítios e paisagem da área de estudo consiste, pois, na manutenção diacrônica de eixos principais de fluxos de vista, da estrutura perspectiva, desde o período pré-colonial ao presente, resultando na permanência das formas de distribuição das atividades em função dos caminhos.

Entendemos que os processos de orientação, performance e estabelecimento na área de estudo dependeram fundamentalmente de uma percepção pré-colonial da paisagem, que atuou na organização das atividades humanas subsequentes, sendo mantidos os eixos de movimentação, ainda que as atividades históricas tenham diversificado e aprofundado o conhecimento paisagístico.

Tal permanência é tratada, então, como um aspecto de Longa Duração (Braudel, 1983), que perdura por pelo menos dois milênios, podendo ser ainda mais antiga, em razão das datas apontadas. Temos uma distribuição de atividades na paisagem que reforça parte das estratégias de apropriação pré-coloniais, adotadas também no período histórico, que denota a introdução de outros significados que são baseados num repertório performativo e em atividades distintas, mas que mantêm a estrutura da perspectiva pré-colonial ao longo das áreas dominadas visualmente pelos sítios nas terras altas.

Considerações finais

Buscamos avançar na discussão acerca da organização paisagística e dos sítios arqueológicos nas áreas das Serras do Paraopeba, Itabira e Negra, considerando o processo de estabelecimento diacrônico de matrizes de movimento. A maior parte dos sítios da amostra se encontra dentro do campo visual abrangente proporcionado pela situação dos sítios rupestres em terras altas. Os demais sítios pré-coloniais se inserem ao longo de fluxos de vista proporcionados pelo movimento entre esses sítios, sugerindo um possível controle visual das áreas de atividades, que teria favorecido o estabelecimento de fluxos de movimento específico.

O período colonial é marcado, na área de estudo, pela manutenção de parte dessa estrutura, por meio do estabelecimento de atividades ao longo das faixas de movimentação pré-colonial. É marcante a ruptura nas formas de apropriação da paisagem proporcionada pela introdução de atividades de maior fixação, em razão da mineração ou agropecuária. Porém, os fluxos anteriores influenciaram as ocupações subsequentes, organizando atividades a partir dos caminhos predominantes no período pré-colonial, sugerindo o reaproveitamento e manutenção desses caminhos utilizados pelos grupos indígenas.

No cenário de Longa Duração apresentado, apesar de se observarem mudanças fundamentais em determinadas formas de percepção e apropriação do ambiente, existe um fio condutor dessas formas na paisagem regional, que parece estar intimamente ligado à distribuição das atividades pré-coloniais na área de estudo. As ocupações posteriores não somente teriam mantido caminhos propriamente ditos, como também, ter-se-iam estruturado em função deles. A morfologia física regional obviamente contribui para tal, mas é na sua articulação na paisagem

que residem as principais chaves para o fluxo perceptivo no passado, operando conjuntamente na recuperação e inscrição de significados e ritmos específicos ao longo do tempo.

Os caminhos seriam, então, um denominador comum dessas ocupações e vetores fundamentais das ocupações humanas no Quadrilátero Ferrífero. A amostra levantada nesse estudo, no entanto, demonstra-se enviesada e insuficiente para permitir maior detalhamento dos distintos processos e fluxos de vista apreensíveis na área de estudo.

Notamos, enfim, a possibilidade de que novos achados arqueológicos e pesquisas sistemáticas permitam o aprofundamento do conhecimento acerca das distintas performances envolvidas nas atividades humanas na região e o melhor detalhamento das relações organizativas dessas ao longo do tempo, na perspectiva da Longa Duração. Pesquisas futuras poderão investigar, de maneira específica, os sítios arqueológicos pré-coloniais a céu aberto e também a ocorrência de vestígios antrópicos fora das terras altas.

Os esquemas de movimento estabelecidos na área de estudo remetem ao fato de que a própria localização e mapeamento individual da paisagem dependem da apropriação dos significados inscritos e da regeneração de seu fluxo de perspectiva na construção de uma visão ampla da região. Os elementos perceptivos e performativos pré-coloniais, relacionados a esses esquemas, atuaram nas ocupações subsequentes e repercutem até o presente na nossa própria forma de entender e organizar essa paisagem.

Referências Bibliográficas

Abreu, J.C. 1907. *Capítulos de História Colonial (1500-1800)*. Rio de Janeiro: Fundação Biblioteca Nacional.

Abreu, J.C. 1979. *Caminhos antigos e o povoamento do Brasil*. Rio de Janeiro: Itatiaia.

Almeida, A.Q. 2007. *Arquitetura e Poder. Um olhar sobre a "Estrada Real*. Belo Horizonte: Editora UFMG.

Anastasia, C.M. 2005. *A Geografia do Crime: violência nas Minas Setecentistas*. Belo Horizonte: Editora UFMG.

Anschuetz, K.; Wilshusen, R. & Schieck, C. 2001. Una arqueología de los paisajes: perspectivas y tendencias. *Journal of Archaeological Research*, 152-197.

Antonil, A.J. 1982. *Cultura e opulência do Brasil* 3ª edição. Belo Horizonte: Itatiaia/Edusp.

Auler, A.; Ferreira, R.; Baeta, A. & Piló, H. 2005. *Estudos espeleológicos na área da mina de minério de ferro Capão Xavier - MBR, Nova Lima, MG*. Belo Horizonte: MBR Editora / PRCZ Consultores Associados.

B.P. Arqueologia . 2004. *Relatório de Diagnóstico Arqueológico das áreas de influência da Mina de Capão Xavier*. Belo Horizonte: Vale MBR.

B.P. Arqueologia. 2006. *Programa de Prospecção e Resgate Arqueológico da Mina Capão Xavier – Município de Nova Lima/MG*. Belo Horizonte: Vale S.A.

- Baeta, A., & Piló, H. 2005. Arqueologia do Quadrilátero Ferrífero. Aspectos preliminares sobre sua ocupação. Estudo do caso de Capão Xavier. *O Carste*, 17: 116-131.
- Beneš, J., & Zvelebil, M. 1999. A historical interactive landscape in the heart of Europe: the case of Bohemia. In: Ucko, P. *The Archaeology and Anthropology of Landscape*. London: Routledge. p. 74-94.
- BRANDT Meio Ambiente. 2008. *Patrimônio Natural - Cultural e Zoneamento Ecológico-Econômico da Serra Da Moeda: uma Contribuição para sua Conservação*. Belo Horizonte: Fiemg/Sindiextra.
- Braudel, F. 1983. *O Mediterrâneo e o mundo mediterrânico no tempo de Felipe II*. São Paulo: Martins Fontes.
- Carrara, A. A. 2001. Ocupação territorial e estrutura fundiária: as minas e os currais (1674-1850). *Estudos de História*, 8(2).
- Carrara, A.A. 2007. Antes das Minas Gerais: conquista e ocupação dos sertões mineiros. *Varia História*, 23(38): 574-596.
- Cobb, C.R. 1991. Social Reproduction and the Longue Durée in the Prehistory of the Midcontinental United States. In: Preucel, R.W. *Processual and Postprocessual Archaeologies: multiple ways of knowing the past* Carbondale: Center for Archaeological Investigations. p. 168-181.
- Cosgrove, J.W. & Daniels, S. 1988. *The iconography of landscape*. Cambridge: Cambridge University.
- Darvill, T. 1999. The historic environment, historic landscapes, and space-time-action models in landscape archaeology. In: Ucko, P. *The Archaeology and Anthropology of Landscape*. London: Routledge.
- Delforge, A. 2010. *O gerenciamento do patrimônio arqueológico no Estado de Minas Gerais utilizando-se sistema de informações geográficas (SIG)*. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
- Dunnell, R. 1992. The Notion Site. In: Rossignol, J. & Wandsnider, L. *Space, Time and Archaeological landscapes*. New York: Plenum Press. p. 21-40.
- Ecology, A.E. 2012. *Estudo de Impacto Ambiental Expansão Serra Azul – Sistema de Disposição de Rejeito*. Belo Horizonte.
- GATE-CPRM. 2005. *Projeto APA SUL RMBH - Estudos do Meio Físico*. CEMIG/CPRM. Belo Horizonte: CPRM.
- Gibson, J.J. 1986. *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Guimarães, A. 2009. O Caminho Velho das Minas: a descrição de Antonil, os mapas coevos e a cartografia moderna. III Simpósio Luso-Brasileiro de Cartografia Histórica. *Anais...*
- Guimarães, A.R. 2008. *Inácio de Souza e os Falsários do Paraopeba: Minas Gerais nas redes mundializadas do século XVIII*. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
- Guimarães, C.M. 2008. *Levantamento Histórico-Arqueológico da Estrada Real: o Capão do Lana – Ouro Preto/MG*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Laboratório de Arqueologia da Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas.

- Guimarães, C.M. & Reis, L.M. 1987. Agricultura e caminhos de Minas Gerais (1700/1750). *Revista do Departamento de História*.
- Guimarães, C. M.; Pereira, A. B., & Nascimento, E. L. 2004. Arqueologia de Uma Rebelião no Império Colonial Português (A Revolta de 1720 e o Morro da Queimada - Minas Gerais) . *IV Congresso de Arqueologia Peninsular*.
- Guimarães, C.M.; Reis, F.M. & Pereira, A.B. 2003. Arqueologia da Mineração Colonial: o Forte de Brumadinho, um estudo de caso (Minas Gerais/Brasil - século XVIII - XIX). XII Congresso da Sociedade de Arqueologia Brasileira. São Paulo. *Anais...*
- Guimarães, C.M.; Reis, F.M.; Pereira, A.B.; Nascimento, E.L., & Oliveira Neto, L.F. 2003. Arqueologia da Mineração Colonial: Documentos, Canais e Mundéus. *Atas do Congresso da Sociedade de Arqueologia Brasileira*.
- Ingold, T. 2000. *The Perception of the Environment: Essays in Livelihood, Dwelling and Skill*. London: Routledge.
- Linke, V. & Isnardis, A. 2008. Concepções estéticas dos conjuntos gráficos da Tradição Planalto, na região de Diamantina (Brasil Central). *Revista de Arqueologia (Belém)*, 21: 27-43.
- Lume, E.A. 2011. *Diagnóstico do Potencial Arqueológico Barragem Congonhas - Itabirito/MG*. Belo Horizonte: Vale S.A.
- Lume, E.A. 2013. *Avaliação Arqueológica da Estação Ecológica de Fechos - Relatório Final*. Belo Horizonte: Vale S.A.
- Lume, E.A. 2014a. *Avaliação Arqueológica da Mina Córrego do Feijão - Brumadinho/MG - Relatório Final*. Belo Horizonte: Vale S.A.
- Lume, E.A. 2014b. *Avaliação Arqueológica do Parque Estadual Serra do Rola Moça - Relatório Final*. Belo Horizonte: Vale S.A.
- Lume, E.A. 2015. *Prospecção Arqueológica da Barragem Maravilhas III - Itabirito/MG - Relatório Final*. Belo Horizonte: Vale S.A.
- M.C. Consultoria. 2010. *Relatório de Prospecção Arqueológica – Estrada de Ligação entre a Mina do Pico e a Mina de Fábrica*. Belo Horizonte: Vale S.A.
- M.C. Consultoria. 2011. *Relatório de Diagnóstico Arqueológico - Ampliação Mina do Pico*. Belo Horizonte: Vale S.A.
- Nicho, E.C. 2010. *Estudo de Impacto Ambiental: Complexo Paraopeba - Desenvolvimento da Mina Capão Xavier*. Belo Horizonte: Vale S.A.
- Oliveira, O.A.; Olivito, J.P. & Rodrigues-Silva, D. 2011. Caracterização Da Unidade Espelológica e das Unidades Geomorfológicas Da Região Do Quadrilátero Ferrífero - MG. *Espeleo-Tema*, 22(1): 61-80.
- Piló, H., & Baeta, A.M. 2007. As Ocupações Pré-coloniais nos campos ferruginosos de Minas Gerais. In: Simpósio de Arqueologia e Patrimônio. Juiz de Fora. *Anais...*

Prous, A. & Baeta, A. 1992-1993. Elementos de cronologia, descrição de atributos e tipologia. *Arquivos do Museu de História Natural da UFMG. Vol. XIII/IX.*

Sahlins, M. 2001. *Ilhas de história*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar.

SEMAD/IEF. 2007. *Plano de Manejo do Parque Estadual da Serra do Rola Moça, Incluindo a Estação Ecológica de Fechos*. Belo Horizonte: SEMAD/MG & IEF/MG.

Sete, S.E. 2010. *Prospecção e resgate arqueológicos dos sítios arqueológicos Antena e Várzea do Lopes - Mina Várzea do Lopes, Itabirito/MG*. G. Açominas, Ed. Belo Horizonte.

Sete, S.E. 2011. *Estudo de Impacto Ambiental - Projeto de Ampliação da Mina Abóboras - Rio Acima e Nova Lima/MG*. Belo Horizonte: Vale S.A.

Sete, S.E. 2012. *Projeto de desenvolvimento do Complexo Vargem Grande - Nova Lima e Rio Acima/MG*. Belo Horizonte: Vale S.A.

Siqueira, A.S.; Mota, J.F. & Prous, A. 1989. *L'art rupestre de la Pedra Pintada de Cocais, Minas Gerais, Brésil*. Paris: Musée de l'Homme, Institut d'Ethnologie, Archives et Documents, Micro-Edition, R 89 039 534.

Varajão, C.A.; Salgado, A.A.; Varajão, A.F.; Braucher, R.; Colin, F. & Jr., H.A. 2009. Estudo da evolução da paisagem do quadrilátero ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio da mensuração das taxas de erosão (10be) e da pedogênese. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 33(5): 1409-1425.

Vasconcelos, D.P. 1901. Breve descrição geographica, physica e politica da Capitania de Minas Geraes. *Revista do Arquivo Público Mineiro*, 6: 761-853.

Willey, G. & Phillips, P. 1958. *Method and Theory in American Archaeology*. Tuscaloosa: University of Chicago Press.

A ESCRAVIDÃO E O FERRO: METALURGIA, ARQUEOLOGIA E PATRIMÔNIO (SÉCULOS XVIII – XIX)

Carlos Magno Guimarães, Luís Cláudio Pereira Symanski & Marcos André Torres de Souza

Introdução

Com o presente artigo, pretendemos tocar em uma questão que consideramos relevante para o conhecimento de parte importante da História do Brasil e que, embora referida por diferentes autores, não tem recebido o tratamento adequado. Trata-se da metalurgia que, em parte implementada no universo doméstico, está presente em vestígios arqueológicos, em diferentes contextos regionais e contempla marcante influência africana.

Quando, na primeira metade do século XVI, teve início a colonização do território brasileiro, ela se desenvolveu no bojo de um mercado internacional que contemplava, de um lado, o tráfico de africanos para o continente americano e, de outro, a produção, nas Américas, de gêneros para os mercados europeu e africano.

A implantação e manutenção da estrutura produtiva no Brasil exigiu ao longo dos séculos um enorme contingente de mão de obra inicialmente suprida com a população nativa indígena, posterior e gradativamente substituída pelos africanos. Foi neste contexto que o tráfico de escravos adquiriu a proeminência que teve ao longo de todo o tempo.

A transferência de milhões de africanos para as colônias americanas desencadeou um processo, complexo e conflituoso, de transferência cultural forçada que atingiu todos os níveis da realidade nas áreas coloniais.

Portadores de enorme diversidade cultural, os africanos deixaram marcas profundas no cotidiano das diferentes realidades daquele que passou a ser identificado como o Novo Mundo.

A colonização brasileira teve início com a agroindústria do açúcar no Nordeste, cuja crise deslocou o eixo econômico da Colônia para a região das Minas, a partir da descoberta do ouro e, mais tarde, dos diamantes.

Foi este contexto da atividade minerária um dos cenários de ocorrência do objeto que nos interessa. Nas abordagens do denominado “Ciclo do Ouro”, há uma tendência a fechar o foco da análise na atividade nuclear, ignorando as demais que lhe davam suporte. É o que ocorreu, por um lado, com a agricultura e, por outro, com a metalurgia.

Embora ignorada por grande parte da literatura sobre as Minas coloniais, a agricultura teve um peso fundamental como suporte da atividade minerária ao longo de todo o “Ciclo”. Uma perspectiva revisionista, implementada ao longo das últimas décadas, de certa forma vem recuperando a relevância das atividades agrícolas naquele contexto.

Com relação à metalurgia, é possível identificar um processo semelhante, e embora sua importância seja reconhecida, poucos são os estudos que a têm como foco de abordagem.

I

De imediato cabe ressaltar que os dois tipos de atividades – agricultura e mineração – só se tornaram possíveis na região das Minas, na medida em que havia ferramentas/equipamentos disponíveis conforme as demandas específicas de cada uma.

Por outro lado, não é exagero afirmar que, em pequena escala, aquelas atividades poderiam ser desenvolvidas com o uso de peças de madeira (alavancas, pás, bateias, carumbés etc.). Mas, à medida que o processo extrativo avançou e se expandiu, a demanda foi substancialmente alterada com a exigência de instrumentos mais robustos e eficazes. Em tais circunstâncias o uso do ferro se tornou inevitável e a demanda por ele impôs exigências cada vez maiores.

Colocada aquela realidade nessa perspectiva, é necessário levantar outra questão: qual era a origem de tais insumos?

A resposta para a pergunta exige que sejam consideradas duas possibilidades: a importação ou a produção local. Diante do fato de ferramentas/instrumentos de ferro serem importados para a região das Minas, é necessário considerar as dificuldades de transporte e os elevados preços cobrados por tais implementos. Tais variáveis certamente interferiam no sentido de serem obstáculos à importação.

A outra possibilidade era a produção local dos insumos a partir das condições objetivas que se apresentavam. E é nesta perspectiva que deve ser considerada a relevância da metalurgia doméstica e a influência africana nela presente.

A constatação de que na área das Minas houve espaço e condições para o desenvolvimento da metalurgia, voltada para o mercado interno, pode ser feita a partir da análise de documentos contemporâneos.

O primeiro aspecto a ser considerado é a existência de variado leque de necessidades que se expressava no consumo de uma grande diversidade de objetos de ferro, como ferramentas (para diferentes atividades), fechaduras, dobradiças, candeias, trincos, complementos para carros de bois, rosários (usados na mineração), cravos, recipientes etc.

A necessidade de consumo de tais objetos criava amplo mercado no meio urbano e também no rural. Cabe lembrar que grande parte das atividades – minerárias e/ou agropecuárias – se desenvolvia no meio rural, e os limites entre rural e urbano eram difusos, na medida em que se interpenetravam e interagem.

A demanda por itens de ferro em unidades rurais era elevada. A necessidade mais imediata era por ferramentas empregadas no campo, entre as quais as foices, machados, cavadeiras, enxadas e enxós. Havia ainda uma série de itens necessários ao bom funcionamento dessas unidades rurais, entre os quais as ferramentas usadas nos ofícios de carpinteiro, tanoeiro e pedreiro, e que podiam incluir objetos como serras, serrotes, trados, pés de cabra, martelos, formões, cintas para barril e cravos, esses últimos um item de extrema necessidade para a construção e reforma de edificações.

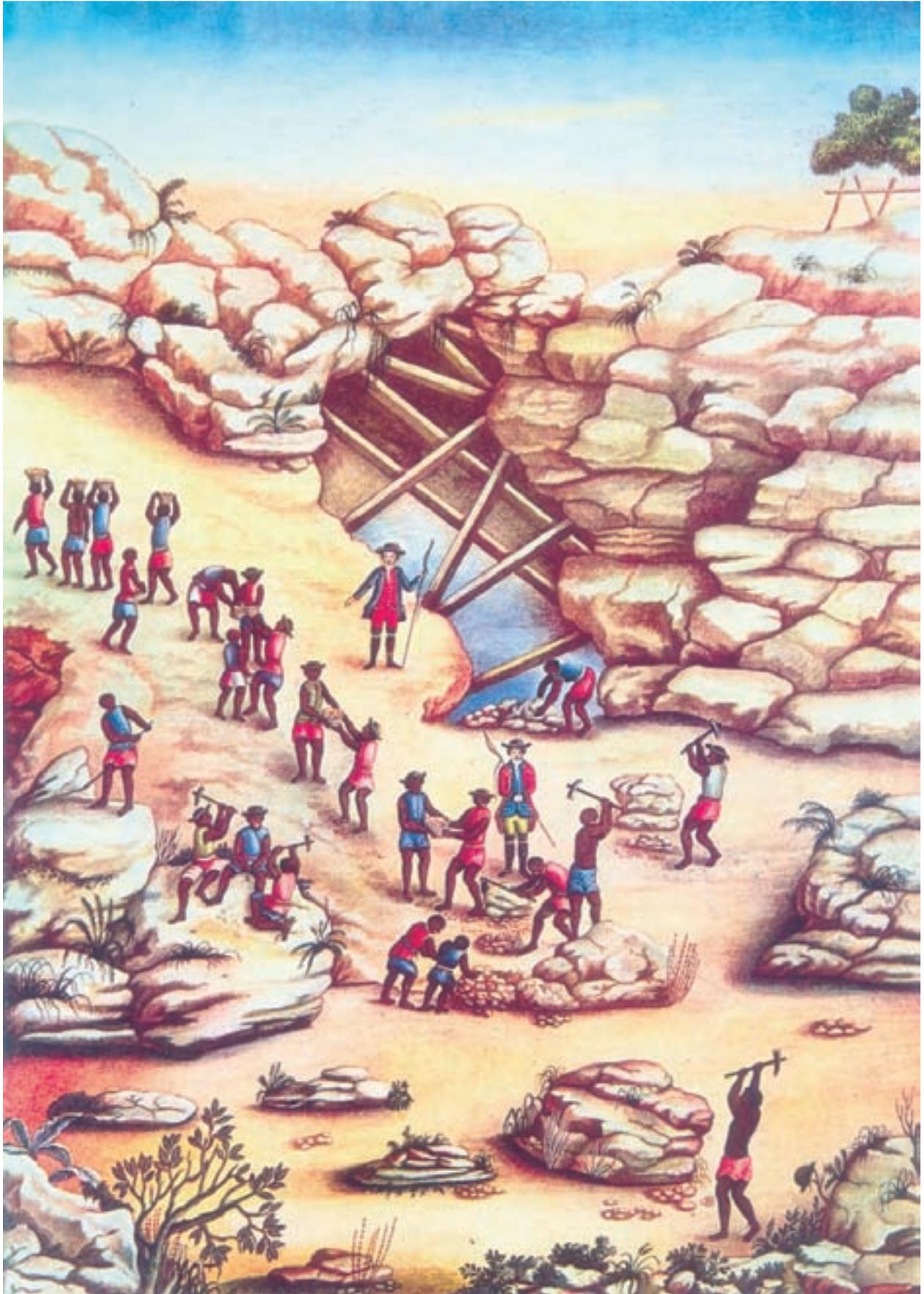


Figura 1 – Carlos Julião. *Extração de diamantes*. 1776. Reprodução: Laboratório de Arqueologia da Fafich/UFMG.



Figura 2 – *Modo de minerar e tirar diamantes*. Anônimo. Minas Gerais, séc. XVIII. Reprodução: Laboratório de Arqueologia da Fafich/UFMG.

Somam-se a essas demandas, aquelas associadas ao transporte. No meio rural, era de extrema utilidade certo nível de autossuficiência na produção e reparo dos carros de bois e itens de selaria.

O segundo aspecto diz respeito às possibilidades de desenvolvimento nas Minas de uma metalurgia, principalmente em pequenas unidades produtivas que, ao longo do tempo, conseguiram suprir grande parte da demanda regional.

As condições para tal produção implicavam duas ordens de fatores: a existência local de elementos materiais envolvidos na atividade (como o ferro e o carvão) e uma força de trabalho dotada de conhecimento dos processos de fundição/manipulação do ferro.

Os dados existentes sobre aquela realidade histórica confirmam que não só tais fatores estiveram presentes, como o resultado ao longo do tempo foi positivo no tocante à satisfação das demandas da sociedade mineira colonial. Também não é exagero afirmar que o denominado “ciclo do ouro” só se tornou possível graças à metalurgia desenvolvida regionalmente.

Os processos extrativos do ouro e dos diamantes demandavam ferramentas e equipamentos, além de exigirem sua manutenção, o que era feito em grande medida através de um recurso, historicamente identificado, através da denominação de “tenda de ferreiro”.

A segunda ordem de fatores, acima referida, que supriu a demanda por objetos de ferro foi a presença de uma mão de obra com conhecimento adequado para processar o ferro, transformando-o nos objetos e ferramentas necessários.

O uso da mão-de-obra escrava de origem africana na região das Minas é um dado já a partir dos momentos iniciais de sua constituição. Ao longo do tempo, a sociedade mineira desenvolveu uma configuração diversificada onde diferentes etnias/identidades culturais se integravam nas diferentes categorias sociais (livres, forros, escravos e administrados). Como já referido, foi uma sociedade turbulenta e permeada de conflitos, ao longo de todo o período colonial e imperial, contexto no qual diferentes culturas africanas entraram em processos de interação inovadora.

Neste caso, interessa-nos um dado já percebido em princípios do século XIX pelo técnico de origem germânica L. Eschwege. Segundo ele:

“O ferro foi fabricado pela primeira vez em Antonio Pereira, por um escravo do capitão-mor Antonio Alvez, e também Inficionado, por um escravo do Capitão Durães”¹

Esta informação vem sendo repassada, desde então, pelos diferentes autores que se referem ao tema e, obviamente, é um dado relevante.

A fundição de ferro na África (aspecto que será retomado à frente) foi desenvolvida em diferentes épocas e locais, através de técnicas também diversificadas. E a arqueologia tem condições de produzir dados que podem contribuir para avançar na direção de uma melhor compreensão do processo na dinâmica da sociedade colonial e imperial.

Tendo já um domínio milenar da técnica de fundição do ferro, parte dos africanos que vieram para o Brasil trouxeram seus conhecimentos, disponibilizando-os no contexto daquela sociedade.

Evidentemente, deve ser ressaltado o fato de que aquela transferência de conhecimento se deu no bojo de uma sociedade escravista, e os que tinham o domínio técnico referido estavam na condição de escravos. Nem deve ser desconsiderado o fato de que conhecimentos e técnicas oriundas de regiões da Europa possam ter chegado ao Brasil, no mesmo contexto.

Do ponto de vista técnico, é necessário considerar aqueles que podem ter sido os tipos mais comuns de “unidades produtivas” metalúrgicas nas Minas. O uso de cadinhos em instalações de dimensões reduzidas parece ter sido a sistemática dominante.

Neste caso, o que se buscava era uma produção limitada voltada para o próprio consumo ou, ainda, para a manutenção de ferramentas que se desgastavam. Tal tipo de recurso parece ter sido dominante em fazendas e unidades minerárias. A escala da produção não colocava o mercado interno como um objetivo a ser atingido, ainda que as pequenas tendas localizadas em praças públicas pudessem ser utilizadas para esse fim.

¹ L. Eschwege, vol.2. pág.103.

Em outra perspectiva, o uso de forjas de maiores dimensões apontava para uma produção mercantil com vistas à obtenção de dividendos, a partir da satisfação de demandas específicas de um mercado regional/local.

A existência dos dois tipos de unidades acima referidos permite inferir uma realidade que contemplava os mundos rural e urbano. À guisa de exemplo, vamos remeter-nos a um período específico, quando já se manifestavam evidências de crise do Império Colonial Português. Trata-se do contexto no qual foi articulada a Inconfidência Mineira.

Descoberto o movimento e desencadeada a repressão, os envolvidos foram presos e tiveram parte de seus bens confiscados.

No caso do vigário Carlos Correia de Toledo, que tinha lavras na Aplicação de São Tiago, o confisco realizado em maio de 1789 contemplou:

“uma forja de ferreiro a saber, em uns foles, uma bigorna grande de ferro; um torno grande; dois malhos pequenos; duas tenazes, uma com um dente quebrado; um martelo; uma bomba de broquear; um limatão, uma lima redonda...”²

Cabe ressaltar que, nesta área de lavra, o inconfidente tinha doze escravos trabalhando, dos quais seis eram de origem africana. Dentre as ferramentas apreendidas, estavam:

“seis alavancas de ferro em bom uso, quatro cavadeiras de ferro, doze enxadas, oito em bom uso, e quatro já mais velhas; quatro almocafres em uso...”³

O inconfidente Francisco Antonio de Oliveira Lopes teve seus bens confiscados no mês de setembro daquele ano. De sua fazenda da Ponta do Morro, entraram na relação de confisco:

“uma ferraria que se compõe de uns foles, um torno grande, uma bigorna, três tenazes e dois martelos.”

Esta fazenda contava ainda com um plantel de quarenta e sete escravos, dos quais destacamos um identificado como Domingos Angola, que era ferreiro e africano⁴.

O Auto de Sequestro dos bens do Coronel José Aires Gomes traz a lista do que foi confiscado na Fazenda Mantiqueira, em maio de 1791. Merecem destaque:

“uma bigorna nova, grande, de ferro que pesará três arrobas, pouco mais ou menos – dois malhos de ferro – um martelo dito – três tenazes – um torno grande de ferro da tenda de ferreiro – uma talhadeira – quatro limas usadas... uma bigorna quebrada que pesa uma arroba e vinte e oito libras – uma pega de ferro... um torno grande quebrado...”

² ADIM, Vol 6, p. 75.

³ ADIM, Vol 6, p. 74.

⁴ ADIM, Vol. 6, p. 152-155.

– uns foles com seu uso - ... um mulato chamado Bernardo, oficial de ferreiro ... (e) João Batista, negro de nação Rebolo, oficial ferreiro... um mulato chamado Baltazar, que aprende o ofício de ferreiro... uma casa onde está a tenda de ferreiro, tudo coberto de telha, e com outras oficinas necessárias.⁵

Entre os bens confiscados a Alvarenga Peixoto, constavam “*uma tenda de ferreiro que se compõe de foles, bigornas, torno e mais ferramentas*”, além de um escravo chamado “*Pedro de nação Caçanje*”⁶, que era oficial de ferreiro.

Os exemplos citados confirmam a presença de ferreiros africanos, a tenda como unidade de processamento (de produção e reparos) e a transmissão do conhecimento para preservação da atividade.

Feitas tais constatações, cabe registrar o potencial da Arqueologia para identificar os sítios remanescentes do contexto histórico referido e cuja abordagem (arqueológica) poderá contribuir para o avanço de sua compreensão.

A Arqueologia Histórica, ao tratar de realidades nas quais já estava presente a escrita, muito se beneficia desta condição. E é nesta medida que seu potencial pode ser ampliado ao tratar de vestígios materiais que apresentam a possibilidade de identificar, por exemplo, padrões estéticos (e/ou de natureza religiosa) de origem africana naqueles elementos, remanescentes de realidades passadas, que ainda estejam em uso ou já se tenham tornado vestígios arqueológicos.

Vamos agora para outro contexto.

II

Nas áreas mineradoras de Goiás, a atividade de ferreiro foi também comum. Nos núcleos urbanos, evidências arqueológicas sugerem a presença de tendas em praças públicas, indicando uma produção voltada ao mercado.

Em prospecções arqueológicas realizadas no pequeno arraial de Ouro Fino, um dos primeiros assentamento urbanos a surgirem em Goiás no contexto da mineração, foi encontrada, na sua praça central, uma concentração súbita e em alta densidade de escória de fundição e fragmentos cerâmicos, sugerindo a presença nesse local de uma tenda de ferreiro. Nesse caso, nenhuma estrutura de forja foi encontrada, sugerindo uma produção por meio de técnicas mais simplificadas.

Evidências de tenda de ferreiro em praça pública foram encontradas também em Santa Cruz de Goiás. Em escavações feitas no pouso denominado Largo da Cadeia, situado ao lado da cadeia da vila, foi encontrada uma infinidade de objetos de metal (cravos, ferraduras etc.), além da estrutura de um provável forno associado a uma grande quantidade de metal fundido (Callefi 2000:122). Considerando a presença desse forno, é possível que a tenda tivesse maior capacidade de produção, permitindo o abastecimento do mercado local/regional.

⁵ ADIM – Vol. 6 – p. 404-406.

⁶ ADIM, Vol.6 – p. 326.

Em Goiás, muitos proprietários de fazendas e engenhos eram também donos de minas e, nesse sentido, podiam empregar as tendas de ferreiro de suas propriedades, na manufatura e reparo de ferramentas usadas na mineração, entre as quais destacavam-se os almocafres, as pás e as alavancas.

Ao que parecem sugerir os inventários *post-mortem*, também ali as tendas de ferreiro no meio rural eram, via de regra, estruturas pequenas. A menção à presença de fornos nesses documentos é rara, o que sugere o emprego de estruturas de combustão de caráter impermanente.

A solução possivelmente empregada nesses casos – e muito conhecida no período – foi utilizar um tipo de forno bastante simplificado, que consistia basicamente de pequenas cavidades escavadas no terreno, com poucos palmos de profundidade (Gomes, 1983:24). Também eram poucos os apetrechos empregados. Uma tenda de ferreiro desse tipo foi a que existiu, muito possivelmente, no Engenho de Santo Izidro, uma grande unidade rural goiana do século XVIII. No inventário do seu proprietário, feito em 1784, aparecem apenas duas tenazes, três martelos, um torno de ferreiro, uma bigorna e um malho⁷. Faltam nessa descrição algumas ferramentas úteis ao ofício de ferreiro, tais como a talhadeira, a alavanca, o cadinho e o fole, que podia ser substituído por um abano rudimentar.

Tendas como essa aparecem descritas também em outras regiões cuja ocupação inicial foi também motivada pela mineração do ouro. Em inventários de proprietários rurais da Chapada dos Guimarães (MT), datados das primeiras décadas do século XIX, os mesmos itens descritos no Engenho de Santo Izidro aparecem mencionados. No arrolamento de bens existentes na propriedade do major Antônio da Silva de Albuquerque, situada às margens do Rio da Casca, constam um torno, duas bigornas e uma ferramenta de ferreiro. Nesse caso, é registrada também a presença de um fole⁸. Desses itens, os mais caros eram sempre o torno, a bigorna e o malho. No inventário do Engenho de Santo Izidro, esses itens compõem 76% dos conjuntos. Via de regra, eram esses os objetos de ferreiro de maior valor também nos inventários de Minas Gerais (Alfagali, 2012:89).

Embora a documentação indique, para as propriedades rurais, a presença frequente de tendas de ferreiro bastante simplificadas, sugere também que, em certos casos, elas podiam ter maior complexidade, contando, inclusive, com a presença de fornos. Esse foi o caso da tenda existente na propriedade do Capitão Apolinário de Oliveira Gago, situada na Chapada dos Guimarães, conforme seu inventário, realizado em 1816. Nessa propriedade, foram registrados os seguintes itens: uma safra de ferreiro (bigorna grande e quadrada de uma só ponta), dois malhos grandes, um martelo, uma talhadeira, uma craveira, um forno e um fole⁹. Destaca-se, nesse caso,

⁷ Ofício do Mestre-de-campo, comandante do Regimento-General e da cavalaria auxiliar de Goiás, Joaquim Pereira Velasco e Molina, ao Secretário de estado da Marinha e Ultramar, Martinho de Melo e Castro; Auto de avaliação, no engenho de SI, 4 de abril de 1780. Arquivo Histórico Ultramarino, IPEHBC(GO), Doc. 2159, N.23, 30.7.1794, CD-Rom.

⁸ Inventário de Antônio da Silva de Albuquerque. Cartório de 5º Ofício de Cuiabá, caixa 16, 1812, processo 621.

⁹ Inventário de Apolinário de Oliveira Gago. Cartório de 2º Ofício de Cuiabá, 1816, Caixa 1.

a presença de um forno, que podia seguir o método conhecido como cadinho, ou mesmo o italiano. É interessante também observar a presença de uma craveira, instrumento utilizado para a produção de cabeça de cravos, indicando sua produção nessa tenda.

A mão de obra empregada nas “tendas”, tanto no meio rural quanto urbano, era a escrava. Geralmente contavam com um ferreiro e um ou dois aprendizes ou serventes (Libby, 1988). A origem desses trabalhadores podia variar, sendo empregados tanto africanos quanto crioulos (escravos nascidos no Brasil). Conforme demonstrou Alfagali (2012:110-111) em sua pesquisa sobre o caso de Minas Gerais, o emprego de escravos de uma ou outra nação nesse ofício se prendia, essencialmente, aos padrões regionais de demografia escrava, não havendo indícios de preferência por parte dos proprietários. Um dado importante a ser registrado é que os escravos ocupados como ferreiros nas propriedades rurais eram mais bem avaliados, indicando maior valorização daqueles que detinham conhecimentos de metalurgia; como foi o caso do Engenho de Santo Izidro, onde os dois cativos que atingiram o maior valor no inventário foram aqueles identificados como ferreiros¹⁰.

E aqui novamente mudamos de contexto, mantendo o eixo temático, mas abordando outros aspectos.

III

Apesar de a mineração e a metalurgia do ferro terem tido maior visibilidade nas regiões de Minas Gerais e Goiás, os artefatos de ferro foram elemento fundamental também para a instalação e desenvolvimento das *plantations* de café que se instalaram na Zona da Mata mineira e regiões vizinhas de São Paulo e Rio de Janeiro, nas primeiras décadas do século XIX.

A instalação desses estabelecimentos foi consequência natural da expansão da economia do café pelo Vale do Paraíba do Sul. Na década de 1830, o cultivo de café já dominava toda a região de Vassouras e de seus municípios circunvizinhos (Machado 1993). Na metade do século, esta região já estava consolidada como principal exportadora do produto, envolvendo grandes fazendas e uma população que tinha em torno de 35 mil pessoas, entre livres e escravos (Stein 1990:27). Antes consistindo em apenas uma região de passagem, de pequenos lavradores, e de ranchos de vendeiros, Vassouras e toda a região circunvizinha desenvolveram uma concentração de terras, com grandes fazendeiros que se estabeleceram à procura de solos férteis para os cafezais, fazendo desta uma das principais regiões importadoras de africanos do Sudeste (Stein 1990:33-34; Silva 1984). A Zona da Mata, seguindo essa tendência, concentrou o maior contingente de escravos de Minas (Freire 2010:11).

A maioria da população escravizada que trabalhou na lavoura de café nesse período era africana. Dentre os cativos acima de quinze anos de idade, cerca de 80% provinham da África (Slenes 1999:42). Uma consequência dessa elevada taxa de africanidade é que os cativos “crioulos”

¹⁰ Ofício do Mestre-de-campo, comandante do Regimento-General e da cavalaria auxiliar de Goiás, Joaquim Pereira Velasco e Molina, ao Secretário de estado da Marinha e Ultramar, Martinho de Melo e Castro; Auto de avaliação, no engenho de SI, 4 de abril de 1780. Arquivo Histórico Ultramarino, IPEHBC(GO), Doc. 2159, N.23, 30.7.1794, CD-Rom.

(nascidos no Brasil) que viviam nesses estabelecimentos eram, majoritariamente, filhos de africanos. Esses africanos entraram no Brasil pelo porto do Rio de Janeiro, que ocupou posição de destaque no tráfico atlântico de escravos, entre o final do século XVIII e as primeiras décadas do XIX.

Também neste caso, ferramentas eram elemento indispensável para a economia do café em todo o ciclo produtivo, que envolvia a plantação, a colheita e a limpeza do produto. Assim, itens como machados para a derrubada da mata nativa, foices para a limpeza e enxadas para o cultivo, eram indispensáveis. Além da atividade agrícola, os itens de ferro eram pré-condição essencial para outras atividades produtivas, como a construção e a marcenaria, constituindo, assim, elementos imprescindíveis para a implantação da civilização do café.

Devido à sua necessidade para a execução das atividades econômicas nas fazendas de café, muitos desses estabelecimentos mantinham tendas de ferreiro, nas quais escravos especializados na fundição e forja do ferro desenvolviam atividades de conserto e mesmo produção de ferramentas (Freire 2009:57-58).

Cabe lembrar que, na África subsaariana, a tecnologia do ferro era considerada por muitos povos como essencial para a manutenção da sociedade, dado que os artefatos de ferro eram utilizados tanto para a subsistência, no caso das ferramentas agrícolas, quanto para a defesa, no caso dos armamentos. Na África, a tecnologia da fundição do ferro remonta ao primeiro milênio anterior à Era Cristã, tendo sido utilizada por uma grande variedade de sociedades, que iam de grupos agricultores que viviam em aldeias e comunidades de pastores nômades, até os grandes impérios com centralização política e econômica. Desse modo, é fato que os africanos que compulsoriamente migraram para as Américas, no período do tráfico atlântico, trouxeram consigo essa tradição tecnológica, como já dito, bem como o universo de crenças ao qual ela estava vinculada (Goucher 2004; Pena 2004; Ringquist 2008).

Como já referido, no Brasil e também em outras colônias e países das Américas, o ofício de ferreiro era altamente valorizado, alcançando os escravos que o detinham um valor bem mais elevado que a média, dada a sua função na produção e reparo das ferramentas nas tendas de ferreiro comuns nas fazendas, engenhos e áreas de mineração (Britto 2012; Pirola 2011:94).

Cabe lembrar que a maioria dos africanos, cujo trabalho era explorado nas fazendas de café do Vale do Paraíba e da Zona da Mata, provinha da África Centro-Occidental, sobretudo do Congo e de Angola. Em muitos mitos de origem dessas sociedades, como os bacongo, os lunda, os kuba e os mbundu, os ferreiros aparecem como os heróis fundadores (Silva 2011:60-75). Do mesmo modo, a figura do ferreiro é tida como portadora de grande força espiritual, pelo seu poder de transformar um produto da natureza (o minério) em um produto cultural através do controle do fogo. Isto requer longo período de aprendizado e de transformação pessoal por meio de rituais que ligam os ferreiros ao mundo espiritual, de modo que todo o seu instrumental é tido como embebido com o poder dos espíritos (Childs 1991:338-339).

Portanto, seja em suas sociedades nativas africanas, seja nas sociedades de *plantation* das Américas, os ferreiros exerceram uma função essencial, produzindo e reparando ferramentas e mesmo armamentos. Não é de surpreender que tenha sido comum a presença de fornos e tendas de ferreiro não somente nas fazendas, mas também nos quilombos do Sudeste, incluindo Minas Gerais, e do Oeste do Brasil (Amantino 2008; Volpato 1996). Os ferreiros, de fato, exerceram um

papel central em muitos movimentos de resistência escrava nas Américas, devido ao seu papel estratégico na produção de ferramentas e armamentos (Ringquist 2008:14-15). É interessante registrar que, para viabilizar um plano de insurreição conduzido por escravos africanos de quinze engenhos de açúcar de Campinas (SP), no ano de 1832, um escravo que mantinha esse ofício, denominado Joaquim Ferreiro, tivesse sido procurado pelos líderes da revolta para a produção de um tipo de alabarda de engonço, que seria empregada como uma das principais armas pelos rebeldes (Pirola 2011:93).

As pesquisas arqueológicas até o momento realizadas em *plantations* do Brasil ainda não revelaram vestígios das tendas de ferreiro. Contudo, escavações realizadas no interior de uma senzala da Zona da Mata mineira, na fazenda Santa Clara, em Santa Rita de Jacutinga, no ano de 2013, apresentaram vestígios relacionados à metalurgia do ferro e, portanto, ao envolvimento de cativos da própria fazenda nessa atividade (Figura 3).

A região onde está localizada a fazenda Santa Clara somente começou a ser colonizada após 1780, sendo antes ocupada pelos índios coroados. Nessa época, foi fundado o arraial do Ouvidor, em decorrência da descoberta e exploração de ouro nos flancos da Mantiqueira. Até 1800, o lugar era conhecido como “A Passagem de Rio Preto – Aplicação de Nossa Senhora da Conceição de Ibitipoca – Comarca do Rio das Mortes”. O chamado Registro de Rio Preto teve como seu segundo guarda-mor o capitão Francisco Dionísio Fortes de Bustamante, proprietário de sesmarias em Rio Preto e Valença. Este era membro de uma poderosa família de São João del Rei, que se havia estabelecido na região no século XVIII (Lima 2002:66). Seu filho primogênito, Francisco Tereziano



Figura 3 - Sede da Fazenda Santa Clara.

Fortes de Bustamante, foi o primeiro proprietário da fazenda Santa Clara, tendo adquirido a propriedade do governo imperial no ano de 1824. Francisco Tereziano sagrou-se Cavaleiro da Ordem de Cristo, bem como Capitão do Corpo de Ordenanças de São João del Rei. Mais tarde obteve o título de Visconde de Monte Verde (Lima 2002:66-67). Com a sua morte, em 1854, a propriedade passou para as mãos de sua viúva, Maria Thereza de Souza Fortes. O casal não deixou herdeiros diretos, de modo que, após a morte da viúva, em 1868, a fazenda foi herdada pelo seu irmão, Carlos Teodoro de Souza Fortes, o 2º Barão de Santa Clara (Lima 2002:67). Mais tarde, a Fazenda Santa Clara foi hipotecada, e arrematada pelo Comendador Modesto Leal, que a vendeu ao Coronel João Honório, pertencendo hoje aos seus descendentes.

A fazenda Santa Clara mantém uma das senzalas em melhor estado de conservação de toda a Zona da Mata mineira, razão pela qual foi selecionada para pesquisa dentro dos quadros do projeto *Café com Açúcar: arqueologia da escravidão no Sudeste rural*, financiado pelo Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq¹¹ (Figura 4). O projeto visa estudar, sob uma perspectiva arqueológica, a dinâmica da escravidão em unidades de produção de açúcar e de café da região Sudeste.



Figura 4 - Vista frontal da senzala da fazenda Santa Clara.

¹¹ Sob a coordenação de Luís Cláudio Symanski



Figura 5 - Escavação no interior da senzala.

A escavação foi concentrada no espaço interno de uma senzala do tipo pavilhão que tem 44 metros de comprimento por 4 metros de largura. O espaço do pavilhão era originalmente subdividido em recintos de 4 x 4 metros (Figura 5). Cada recinto tinha, originalmente, a sua porta de acesso ao pátio da fazenda. Podem ter sido espaços divididos por gênero, sendo ainda possível que alguns dos recintos fossem ocupados por famílias de cativos. Foi aberta, no centro desse espaço, uma área de 24 m² de escavação, referente a um recinto e meio.

A escavação revelou a presença, rente à parede frontal da senzala, de um aglomerado de fragmentos de escória de ferro (Figura 6). A presença desse material no espaço da senzala é uma evidência direta da prática da fundição de ferro, provavelmente executada na própria fazenda. Contudo, cabe questionar os motivos que levaram um ou mais cativos a depositar esse material, aparentemente sem nenhuma função utilitária, nesse espaço da senzala. Considerando que, durante o segundo quartel do século XIX, cerca de 70% da população escravizada dessa região era de origem africana, sobretudo da África Centro-Ocidental, a resposta pode ser buscada nos significados que essas sociedades atribuíam ao ferro e, sobretudo, aos resíduos de sua fundição.

Nos contextos de fundição de diversas sociedades da África Subsaariana, era comum a reutilização da escória no reparo dos fornos e na refundição, para extrair o minério de ferro ainda restante. É registrado também o uso de escória na fundação de casas (Schmidt 1997; Rehren *et al.* 2007:215) e, por fim, a exploração dos blocos para a retirada de pequenas esferas de ferro comuns nos núcleos, para serem utilizadas como balas em rifles (Fovier 1990:291). Em muitas dessas sociedades, a figura do ferreiro era fortemente associada ao mundo espiritual, consistindo a fundição do ferro em uma prática orientada pelas forças espirituais. No caso específico dos



Figura 6 - Blocos de escória exumados de um espaço circunscrito da senzala.

bacongo, o ferreiro, no processo ritual de fundição, era visto como movendo-se entre o mundo dos ancestrais e o dos homens, a partir da mobilização de elementos da sua cosmologia, que incluem o fogo, o carvão, o ferro, o arenito branco, entre outros. A ele era, por extensão, atribuído o poder de cura, através do uso do seu fole, para “soprar” as doenças das pessoas (Ringquist 2008:8-9, 17-18; Silva 2011:79).

Na maioria dessas sociedades há uma analogia direta entre o processo de fundição do ferro e a reprodução e fertilidades humanas, de modo que muitos grupos dão formas femininas aos fornos utilizados na produção do ferro (Mccosh 1979:164-165; Childs e Killick 1993:327). Conforme observa Mccosh (1979:165), a crença central é que o forno consiste em um símbolo feminino que dá nascimento ao ferro. O ferro, por sua vez, é transformado em instrumentos de guerra e de agricultura, fornecendo, assim, proteção contra os inimigos e uma subsistência adequada.

Considerando a fundição como análoga ao processo reprodutivo, em muitas dessas sociedades a escória era tida como representando o sangue menstrual que falhou para coagular-se em um feto, o que leva à proibição de que mulheres no período do ciclo menstrual se aproximem dos fornos, sob o risco de todo o processo de fundição ser arruinado, levando somente à produção de escória (Mccosh 1979:164-165; Herbert 1993:86; Schmidt 1997:121). Há, contudo, uma mística variada envolvendo o poder da escória. No leste da Nigéria, há fortes tabus sobre este material, que não deve ser tocado sob o risco de causar a morte (Herbert 1993:55). Em outras sociedades, contudo, como é o caso dos Fipa da Tanzânia, a escória é tida como um poderoso ingrediente

para a cura da infertilidade, sendo utilizada como amuleto ou moída para uso em poções medicinais (Schmidt e Mapunda 1997:79-80). Mais significativa ainda, o complexo ritual que envolve a fundição do ferro e suas relações com o mundo espiritual faz com que todos os elementos envolvidos na fundição sejam tidos como vinculados a essa força espiritual, que gera fertilidade e proteção, de modo que é prática comum entre os Fipa manterem fragmentos de escória e pedaços de fornos de fundição em suas casas (Blakely 2006:121). Embora não tenham sido encontrados relatos similares sobre tais significados simbólicos da escória entre as populações de Angola, é importante observar que estudos arqueológicos realizados sob a coordenação de Vitor de Oliveira Jorge, no ano de 1973, em uma aldeia fortificada da idade do ferro no Alto de Catumbela, província de Benguela, revelaram, em uma das habitações escavadas, uma significativa presença de escória, material também presente em grande parte dos embasamentos das cabanas do sítio (Jorge Sá Pinto, comunicação pessoal, 10 de dezembro de 2013). Ou seja, pelo menos alguns grupos da Benguela pré-colonial mantiveram a mesma prática dos Fipa, de manter escória no interior de suas habitações, embora, talvez, com significados distintos. Contudo, a ligação da escória com o mundo espiritual entre determinadas populações de Angola é sinalizada pela presença de fragmentos desse material como acompanhamento funerário nos túmulos de Quibaxe, no Kwanza Norte, posteriores ao século XVI (Everdosa 1980:416).

Retornando ao caso da senzala da fazenda Santa Clara, cabe lembrar que a escória estava concentrada somente em uma área circunscrita do recinto parcialmente escavado, rente à parede frontal do mesmo, e ocupando uma área de cerca de cinco metros quadrados. Houve, inegavelmente, uma intencionalidade por parte de um ou mais cativos desse recinto em demarcar o espaço em questão com esse material. Considerando a sua dimensão simbólica, diretamente atrelada com o sagrado ofício do ferreiro africano, uma interpretação possível para o padrão de concentração desse material é que ele estivesse demarcando o espaço de ocupação de um ferreiro, e assim servindo para sacralizar esse espaço dentro do diminuto recinto.

Por fim, outro elemento que parece fazer parte de um conjunto de representações materiais vinculadas à espiritualidade consiste em pequenos blocos de argila branca encontrados no espaço da senzala (Figura 7). O uso ritual de giz ou argila branca, sobretudo caulim, é generalizado entre as populações da África subsaariana. Encontra, porém, sua expressão máxima entre populações centro-africanas, como é o caso dos baongo, sendo denominado de *mpemba* (Thompson 1983:108-109). As forças espirituais que atuam no processo ritual de fundição do ferro fazem com que, em muitas dessas sociedades, o ferreiro-feiticeiro utilize a *mpemba* como um importante componente do ritual. Entre os Ovambo do sul de Angola, o mestre ferreiro, após acender o fogo do forno com um carvão trazido da fogueira da aldeia e oferecer uma prece para os espíritos, pinta seu corpo com argila branca e faz o mesmo com os dois ajudantes que trabalharão com os foles. O mesmo é feito com todos os membros da família quando vão buscar minério nas minas. A crença, entre os Ovambo, é que a argila branca serve para aplacar a fúria dos espíritos (Herbert s.d.). Os tchokwe do leste de Angola, do mesmo modo, tinham como prática passar um composto de folhas com argila branca nos braços dos visitantes que fossem entrar na área da fundição, como uma forma de exorcizá-los de todas as influências que pudessem ser nefastas ao bom



Figura 7 - Um dos blocos de argila branca exumados do espaço interno da senzala.

resultado da fundição. Do mesmo modo, o mestre fundidor, de tempos em tempos, espalhava por cima da carga de minério a ser fundido uma carga da argila branca, visando a assegurar o bom resultado do trabalho (1974:125-127). Schmidt (1998:157-158) observa que os ferreiros Haya, de Ruanda, colocam o caulim no forno de fundição, para infundi-lo com a fertilidade masculina, caso em que o caulim é símbolo do sêmen.

A coocorrência, na senzala da fazenda Santa Clara, de escória e argila branca, dois elementos fortemente vinculados ao simbolismo da fundição do ferro na África subsaariana, aponta para a manutenção, nesse espaço, de sistemas de crenças e de práticas rituais de origem africana. O preenchimento da senzala com esses itens pode ter tido o propósito, assim, de invocar a ajuda espiritual para proteger os ocupantes desse espaço da arbitrariedade e crueldade dos proprietários e capatazes brancos. Esses itens materiais, de valor econômico nulo e de pouco apelo estético, porém de alto conteúdo simbólico, ao atuarem como elementos sagrados e, assim, mnemônicos dos sistemas de crenças de matriz africana, podem ter servido como importantes catalisadores na construção de um senso de comunidade e de identidade comum entre os congos, angolas, moçambiques, minas, benguelas e crioulos que ocuparam esse espaço. Esse esforço na manutenção de uma cosmologia e de um sistema de crenças diferenciado nesses espaços de extremo controle, coerção e violência, que eram as fazendas cafeeiras, denota a capacidade de resistência cultural desses grupos, o seu notável esforço em agenciar uma dimensão extremamente significativa de suas vidas, que era o contato com o mundo espiritual.

Considerações Finais

Pesquisas arqueológicas sobre ferreiros no Brasil seguem sem desenvolvimento, ainda que estudos dessa natureza venham sendo feitos com alguma regularidade em outras partes das Américas (Carter, 1997; DeVore, 1990; Light & Unglik, 1987).

No Brasil, uma contribuição significativa da Arqueologia nesse campo seria uma abordagem das pequenas manufaturas. Análises dessa ordem podem ser realizadas a partir do diagnóstico e estudo dos artefatos em ferro encontrados em sítios históricos. A Arqueologia histórica dispõe, por exemplo, de mecanismos eficazes para a identificação e análise de cravos, cujo uso só foi substituído pelos pregos na segunda metade do século XIX. A análise desse conjunto de artefatos permite saber se os cravos encontrados em um sítio foram produzidos por um ferreiro e de forma artesanal ou em escala industrial. Também são possíveis abordagens acerca dos tipos de ferramentas empregadas na produção desses itens (Wells, 1998). Análises metalográficas permitem ainda informações no que diz respeito à origem desses objetos (Lenik, 1977). Dessa forma, tornam-se possíveis inferências acerca do método de manufatura utilizado na confecção desses artefatos, sua escala de produção e a possível participação de manufaturas locais nesse processo.

O envolvimento dos cativos com o ofício de ferreiro é outra questão que também pode oferecer perspectivas de análise interessantes. Embora tenhamos a propensão em considerar as comunidades escravas como grupos homogêneos e coesos, é certo que houve diferenciação entre seus integrantes. E as possibilidades de diferenciação eram inúmeras. Entre elas, estava o tipo de ocupação do cativo, o que poderia permitir um status distinto tanto em relação ao proprietário quanto em relação à comunidade. Os trabalhos manuais eram vistos com desprezo pela população livre e usados como mecanismo de dominação e afirmação do poder senhorial (Lima, 2008). Não obstante, mecanismos dessa natureza podiam ser subvertidos e utilizados como uma forma de superação. Ao se ocupar como ferreiro, o escravo certamente era visto como tendo mais valor e importância pelo proprietário, o que está refletido, sobretudo, pelo alto valor que os ferreiros podiam alcançar nos inventários. Quando recebiam algum tipo de remuneração, o que era uma prática relativamente comum entre os escravos de ofício (Libby, 1988), podiam também acumular pecúlio e utilizá-lo para adquirir alforria. Nesse sentido, análises sobre ofícios como o de ferreiro podem permitir reflexões interessantes sobre as relações que envolviam proprietários e escravos.

Outra dimensão a ser também considerada diz respeito ao envolvimento do ofício de ferreiro com a sociedade colonial. Conforme assinalamos, a produção de metais podia ser aplicada em uma variada gama de atividades, como em obras públicas, na mineração, na produção rural, nos transportes etc. A forma como a produção local de metais se relacionava com essas diferentes atividades serve como um indicador muito sensível de que, ao invés de ser marcada pela compartimentalização e independência de seus setores, a sociedade colonial e imperial possuía uma lógica baseada na interdependência profunda das suas diferentes esferas. Nas Ciências Sociais (Ingold, 2007, 2008, 2011; Latour, 2007) e, em particular, na Arqueologia (Hodder, 2012; Shanks, 2007; Witmore, 2007), têm-se tornado cada vez mais frequentes os apelos para que seja

dada mais atenção às redes de interação criadas pelos povos do passado. Cabe o registro de que, no princípio do século XIX, o marxismo já afirmava que as sociedades envolvem a interação humana, em vários níveis de relação entre diferentes grupos de pessoas. Tão importante quanto isso é o fato de a cultura material estar envolvida nesse processo, existindo em um nível de dependência profunda com as pessoas. Nesse sentido, a exploração da rede de relações possíveis entre a produção do ferro e a sociedade pode viabilizar releituras interessantes sobre a conformação das áreas mineradoras e outras.

Se levado em conta o envolvimento da atividade de ferro, não só com a sociedade, mas também com o meio ambiente, tornam-se possíveis também novos olhares sobre os impactos ambientais das atividades econômicas realizadas no período colonial.

Na atividade metalúrgica tradicional é necessário um consumo significativo de carvão, e nas técnicas menos complexas, justamente aquelas mais comumente empregadas pelos ferreiros no universo colonial, eram exigidas maiores quantidades desse combustível (Britto, 2012:14). Além disso, a atividade metalúrgica está ligada a outras de natureza predatória, realizadas no período colonial, como a extração do ouro, que exigia reconfigurações significativas na paisagem natural, e muitas outras, como aquelas ligadas à cana-de-açúcar, que exigiam a devastação de áreas de vegetação nativa, bem como um consumo considerável de carvão para alimentar as caldeiras, empregadas no processamento do açúcar e da aguardente.

Pensar nos impactos ambientais do período exige considerar sua relação com o tempo presente. Cada vez mais, o quadro de mudanças climáticas atuais tem sido identificado como um produto de processos cumulativos de caráter planetário e que se colocam muito além da ótica binária que separa o ser humano da natureza (Latour, 2014). Por esse viés, podem ser dadas contribuições interessantes para a compreensão dos impactos ambientais de longo termo no Brasil.

A partir dos aspectos e potencialidades levantados ao longo do texto, cabem algumas observações ligadas à questão patrimonial.

A Arqueologia tendencialmente tem seu foco voltado para vestígios materiais remanescentes de realidades passadas, o que a coloca na condição de dependente da preservação deste patrimônio.

É inegável que os vestígios arqueológicos, originários dos contextos históricos acima referidos, constituem importante e rica base de dados a ser utilizada para a produção de conhecimento sobre aquelas realidades. E é nesta medida que tais acervos integram o patrimônio arqueológico brasileiro que, enquanto tal, deve ser protegido e preservado.

Lamentavelmente, ao longo do tempo e particularmente nas últimas décadas, o patrimônio arqueológico de Minas Gerais (tanto o histórico quanto o pré-histórico) vem sendo impactado e destruído por diversos fatores.

O destaque fica para os empreendimentos de infraestrutura (hidrelétricas, rodovias, entre outras) e para a atuação das empresas mineradoras.

Embora a legislação em vigor contemple a necessidade de uma arqueologia de resgate (ou preventiva) diante da inevitabilidade de implantação de tais empreendimentos, também é certo que nem sempre os trabalhos são realizados conforme critérios mais adequados.

Na região do “Ciclo do Ouro”, outro agravante do processo de destruição das antigas fazendas é o mercado de peças elaboradas com material de demolição. Em algumas áreas, o número de demolições vem colocando em risco a possibilidade de preservação de conjuntos inteiros.

No tocante ao tema tratado aqui, é urgente o desenvolvimento de projetos que permitam recuperar as informações e preservar os sítios, para evitar que as gerações futuras possam conhecer aquela realidade apenas através de livros ou de artigos como este.

Agradecimentos

Queremos expressar nossos agradecimentos pela contribuição inestimável na elaboração deste artigo à pesquisadora Camila Fernandes de Moraes e aos estagiários Nayara Oliveira Santos e Guilherme Beta Regis.

Referências Bibliográficas

ADIM. 1982. *Autos de Devassa da Inconfidência Mineira*. Belo Horizonte: Imprensa Oficial de Minas Gerais. 10 volumes.

Alfagali, C.G.M. 2010. Um segredo de fabricar: o artesanato do ferro em Vila Rica de Ouro Preto (século XVIII). In: Fernandes, L.O. *Seminário internacional Justiça, administração e luta social: dimensões do poder em Minas*. Ouro Preto: ICHS/UFOP. p. 1-28.

Alfagali, C.G.M. 2012. *Em casa de ferreiro pior apeiro: os artesãos do ferro em Vila Rica e Mariana no século XVIII*. Unicamp.

Amantino, M. 2008. Relações sociais entre negros e índios nas fazendas inacianas – Rio de Janeiro, século XVIII. XIX Encontro Regional de História: Poder, Violência e Exclusão. ANPUH/SP-USP. São Paulo. *Anais...* Cd-Rom.

Barjona, E.J. 2001. *Metallurgiae Elementa Coimbra*. GCLtda.

Bastin, M.L. 1974. O alto forno lutengo. *Museu de Etnologia*, III: 59-69.

Blakely, S. 2006. *Myth, ritual and metallurgy in ancient Greece and recent Africa*. New York: Cambridge University Press.

Britto, M.S.G. 2012. Artes do ferro entre escravos e libertos: as práticas e a aprendizagem - Minas Gerais, século XIX. *Ars Histórica*, 3, 1-25.

Carter, M. 1997. *The Archaeological investigation of a seventeenth-century blacksmith shop at Ferryland, Newfoundland*. Newfoundland: Memorial University of Newfoundland.

- Childs, T.S. 1991. Technology and iron smelting furnaces in Bantu-Speaking Africa. *Journal of Anthropological Archaeology*, 331-359.
- Childs, T.S. & Killick, D. 1993. Indigenous African Metallurgy: Nature and Culture. *Annual Review of Anthropology*, 22: 317-37.
- DeVore, S.L. 1990. Fur Trade Era Blacksmith Shops at Fort Union Trading North Dakota Post National Historic Site, North Dakota. *Historical Archaeology*, 24: 1-23.
- Everdosa, C. 1980. *Arqueologia Angolana*. Lisboa: Edições 70.
- Eschwege, W.L. 1979. *Pluto Brasiliensis*. v. 2. Belo Horizonte: Itatiaia. 203 p.
- Freire, J. 2010. A Inserção dos Africanos na Zona da Mata – Minas Gerais, Século XIX. *Sankofa, Revista de História da África e de Estudos da Diáspora Africana*, 6.
- Fowler, I. 1990. *Babungo: a study of iron production, trade and power in a nineteenth century Ndop Plain chiefdom (Cameroons)*. Tese de Doutorado. London: University College.
- Guimarães, C.M. & Reis, L.M. 1986. “Agricultura e escravidão em Minas Gerais”. *Revista do Departamento de História da Fafich/UFMG*, 2: 32-41.
- Gomes, F.M. 1983. *História da Siderurgia no Brasil*. Belo Horizonte: Itatiaia.
- Herbert, E.W. 1993. *Iron, gender and power: Rituals of transformation in African societies*. Bloomington: University of Indiana Press.
- Herbert, E.W. s/d *Kwanyama Iron Working*. Disponível em: http://www.era.anthropology.ac.uk/era_resources/Era/P-C_Museum/herbert.html. Acesso em 14 mar. 2014
- Hodder, I. 2012. *Entangled: an archaeology of the relationships between humans and things*. In: Malden, M.A. Wiley-Blackwell. Disponível em: <http://www.columbia.edu/cgi-bin/cul/resolve?clio10039100>
- Ingold, T. 2007. *Lines: A Brief History*. New York: Routledge.
- Ingold, T. 2008. When ANT meets SPIDER: Social theory for arthropods. In: *Material Agency: Towards a Non-Anthropocentric Approach*. New York: Springer. p. 209–215.
- Ingold, T. 2011. *Being alive: essays on movement, knowledge and description*. London / New York: Routledge. 270 p.
- Latour, B. 2007. *Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network-Theory*. New York: Oxford University Press.
- Latour, B. 2014. Agency at the time of the Anthropocene. *New Literary History*, 45: 1-18.
- Lenik, E.J. 1977. A Study of Cast Iron Nails. *Historical Archaeology*, 11, 45-47.
- Libby, D.C. 1988. *Transformação e Trabalho em uma economia escravista: Minas no século XIX*. São Paulo: Brasiliense.

- Light, J.D., & Unglik, H. 1987. *A Frontier Fur Trade Blacksmith Shop, 1796 -1812*. Ottawa: National Historic Parks and Sites Environment, Canada Parks.
- Lima, R.G. 2002. A fazenda Santa Clara – um feudo cafeeiro e escravagista. *Carta Mensal – Colégio Brasileiro de Genealogia*, 67: 66-67.
- Lima, T.A. 2008. Los zapateros descalzos: arqueologia de una humillación en Rio de Janeiro (siglo XIX). In: Zarankin, A. & Acuto, F. *Sed Non Satiata II*. Córdoba: Encuentro Grupo Editor. p. 35–58.
- Machado, H.F. 1993. *Escravos, Senhores e Café. A crise da cafeicultura escravista do Vale do Paraíba Fluminense. 1860-1888*. Niterói: Cromos.
- McCosh, F.W.J. 1979. Traditional iron-working in central Africa with some reference to the ritualistic and scientific aspects of the industry. *Zambesia*, VII (ii): 155-170.
- Meneses, J.N.C. 2013. *Artes Fabris & Ofícios Banais*. Belo Horizonte: Fino Traço.
- Pena, E.S. 2004. Notas sobre a historiografia da arte do ferro nas Áfricas Central e Ocidental. XVII Encontro Regional de História – O lugar da História. ANPUH/SPUNICAMP. Campinas. *Anais...* Cd-Rom.
- Pirola, R.F. 2011. *Senzala Insurgente. Malungos, parentes e rebeldes nas fazendas de Campinas (1832)*. Campinas: Editora UNICAMP.
- Rebelatto, M. 2014. *Fábricas e Tendões de Ferro em Dinâmicas Escravistas: termo de Santa Bárbara, Minas Gerais, 1822-1888*. Belo Horizonte: Fino Traço.
- Rehren, T.; Charlton, M.F.; Chirikure, S.; Humphris, J.; Ige, A. & Veldhuijzen, H.A. 2007. Decisions set in slag – the human factor in African iron smelting. In: La Niece, S.; Hook, D. & Craddock, P. *Metals and mines: Studies in archaeometallurgy*. London: Archetype Publications. p. 211-218.
- Ringquist, J. 2008. Kongo Iron: Symbolic Power, Superior Technology and Slave Wisdom. *The African Diaspora Archaeology Network*, 1-21.
- Schmidt, P.R. 1997. *Iron technology in East Africa: Symbolism, science and archaeology*. Indiana: Indiana University Press.
- Schmidt, P.R. 1998. Reading gender in the ancient iron technology of Africa. In Kent, S. (ed.), *Gender in African Prehistory*. Walnut Creek: Altamira Press. p. 139-162.
- Schmidt, P.R. & Mapunda, B.B. 1997. Ideology and the archaeological record in Africa: interpreting symbolism in iron smelting technology. *Journal of Anthropological Archaeology*, 16: 73-102.
- Shanks, M. 2007. Symmetrical Archaeology. *World Archaeology*, 39(4): 589-596.
- Silva, A.C. 2002. *A Manilha e o Libambo*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.
- Silva, E. 1984. *Barões e Escravidão. Três gerações de fazendeiros e a crise da estrutura escravista*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.
- Silva, J.R. 2011. *Homens de Ferro. Os ferreiros na África central no século XIX*. São Paulo: Alameda / FAPESP.

Slenes, R. 2011. *Na Senzala uma Flor: esperanças e recordações na formação da família escrava*. 2ª edição. Campinas: Editora da UNICAMP.

Stein, S. 1990. *Vassouras: Um Município Brasileiro do Café (1850-1900)*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.

Thompson, R.F. 1983. *Flash of the Spirit – African and Afro-American Art and Philosophy*. New York: Vintage Books.

Vagas, M. 1994. *História da Técnica e da Tecnologia no Brasil*. São Paulo: Editora Unesp.

Volpato, L.R. 1996. Quilombos em Mato Grosso: Resistência Negra em Área de Fronteira. In: Reis, J. & Gomes, F. *Liberdade por um Fio: História dos Quilombos no Brasil*. São Paulo: Companhia das Letras. p. 213-239.

Wells, T. 1998. Nail Chronology: The Use of Technologically Derived Features. *Historical Archaeology*, 32(2): 78-99.

Witmore, C.L. 2007. Symmetrical archaeology: excerpts of a manifesto. *World Archaeology*, 39(4): 546-562.

PETROGLIFOS NAS BANCADAS LATERÍTIAS DE CORUMBÁ, MS

José Luís dos Santos Peixoto

Os primeiros habitantes das Américas deixaram testemunhos de sua presença na paisagem e seus vestígios são documentos que estão representados por artefatos, por estruturas, pelos remanescentes da fauna e flora, pelos sepultamentos, pelas modificações provocadas no ambiente e pelos registros rupestres.

Os registros rupestres, que incluem as pinturas e as gravuras (petroglifos), apresentam-se como importante fonte de informação que expõe uma grande quantidade e diversidade de manifestações gráficas. Seus símbolos podem representar tempos diferentes com múltiplos significados no interior de um mesmo grupo, pois dependem da história particular de cada sociedade. Os substratos rochosos servem como suporte para os registros dos grafismos e as escolhas dos locais são as paredes das grutas, dos abrigos sob-rocha, das cavernas, dos afloramentos rochosos e dos lajedos horizontais. Nesses locais os homens utilizaram a linguagem gráfica, através da pintura e da gravura, para registrar a história e a cosmovisão de seu grupo.

As pinturas e as gravuras rupestres fornecem informações sobre as técnicas, as atividades e o uso dos artefatos, que possibilitam inferências sobre parte do modo de vida dos grupos indígenas. Essas informações possibilitam compreender parte do cotidiano do passado, que as escavações arqueológicas não podem fornecer isoladamente.

No Brasil, para auxiliar nos estudos de arte rupestre, foram organizados pelos pesquisadores agrupamentos de representações gráficas, denominados de tradições rupestres, a partir dos estilos e das temáticas presentes nos sítios distribuídos no território brasileiro. As tradições propostas auxiliam na organização dos dados de forma a apresentar características semelhantes entre si, num determinado espaço e tempo. No Brasil, esses agrupamentos são representados pela tradições Planalto, Nordeste, Agreste, São Francisco, Meridional, Litorânea e Amazônica (Prous, 1992 e 2007; Hetzel & Negreiros, 2007), que reúnem centenas de sítios de arte rupestre. Entretanto, alguns sítios de arte rupestre de Goiás, da Chiquitania¹ (Bolívia) e do Pantanal possuem agrupamentos de sítios com petroglifos que não estão incorporados a essas tradições, mas parecem pertencer ao mesmo horizonte cultural, pois possuem semelhanças nas técnicas de confecções, nos símbolos, e utilizam como plataforma lajedos horizontais.

¹ A Chiquitania está localizada no Oriente Boliviano e seus limites são definidos a leste pelo Pantanal (Brasil), ao sul pelo Chaco (Bolívia/Paraguai), a oeste pelo Rio Grande (Bolívia) e ao norte até 15° de latitude.

Na região de Goiás, os registros rupestres são associados ao Complexo Estilístico Simbolista Geométrico Horizontal, representado por três estilos distribuídos na bacia do Alto Araguaia e Alto Tocantins. No Alto Araguaia, as representações são figuras antropomorfas, zoomorfas e fitomorfas, e representações geométricas e desenhos livres (Schmitz *et al.*, 1979). No Alto Tocantins, as gravuras apresentam o predomínio de grafismos confeccionados por atrito/polimento, produzindo sulcos que formam figuras com motivos classificados como abstratos, geométricos ou livres, que se distribuem sobre superfície horizontal sem orientação específica. De acordo com Souza *et al.* (1979), esse complexo estilístico pode ser associado aos sítios rupestres encontrados nos estados da Bahia, da Paraíba, do Rio Grande do Norte e do Mato Grosso do Sul (Pantanal). Da mesma forma, Pereira (2008) considera que as gravuras rupestres do sudeste do Pará podem ser incluídas nesse complexo estilístico, mas com variações regionais.

Na Chiquitania, há dezenas de sítios com petroglifos e pinturas rupestres distribuídos no planalto chiquitano, coberto por vegetação de Cerrado e de Chaco, constituído por serras, morros de baixa altitude e lajedos horizontais, que proporcionam suporte adequado para os registros rupestres pertencentes aos grupos indígenas pré-coloniais. Nessa região, Riestler (1981) documentou os sítios Piedra Marcada, Pope Sántosch, Roboré, Santiago de Chiquitos e Yororobá, onde são confeccionadas gravuras sobre lajedos horizontais, com representações geométricas (círculos concêntricos ligados entre si por sulcos), zoomorfas (cervídeos e aves) e antropomorfas, representações geométricas ligadas por sulcos longitudinais e por impressões de pés humanos em baixo-relevo. Eventualmente, existem pinturas em paredes rochosas de abrigos sob rocha com símbolos pintados de vermelho com motivos geométricos, zoomorfos e antropomorfos. Na serra de San José de Chiquitos, próximo ao Rio Quimone, numa região com presença de pequenas lagoas associadas à Lagoa Concepción, foram realizados estudos no sítio Canõn de los Tocos, que contém gravuras em lajedo horizontal numa área de 450 m². De acordo com Kaifler (2002), os elementos tipológicos constituem-se por figuras antropomorfas (com uso de ferramentas, de adorno cefálico e de pés humanos), zoomorfas (lagartiformes, serpentiformes e animais não identificados), “pisadas de aves”, “pisadas de felinos”, esqueletiforme e por figuras geométricas (círculos, círculos concêntricos simples, duplo e triplo; espirais, cruciformes, retângulos, entre outros). Os registros rupestres são compostos por um sulco central de poucos centímetros de largura e com mais de 142 m de comprimento que, eventualmente, interligam conjuntos de grafismos antropomorfos, zoomorfos e geométricos. Na mesma serra, ao sul da Lagoa Concepción, localiza-se os petroglifos de Capinsal, onde as gravuras estão dispostas numa superfície rochosa horizontal com figuras geométricas representadas por círculos concêntricos, linhas paralelas, perpendiculares e cruzando entre si. Nesse sítio há figuras biomorfos, representadas por figuras de pés humanos, serpentiformes e numerosas figuras lagartiformes (Kaifler, 1999).

No limite nacional entre Bolívia e Brasil, encontram-se os petroglifos de Mutún, que estão localizados na Serra do Mutún, no território boliviano. Esta serra integra o Maciço do Urucum, no lado brasileiro, onde situam-se os petroglifos de Corumbá, representados por um conjunto de cinco sítios com gravuras rupestres. Os petroglifos de Mutún são representados por dois sítios rupestres, sendo que um deles, denominado de La Cruz, localizado sobre uma bancada laterítica,

foi documentado por Kaifler (2006) e se caracteriza por apresentar figuras geométricas delineadas por sulcos que representam círculos concêntricos, cúpulas, “pisadas de felinos”, “pisadas de aves”, “pisadas antropomorfas” e grafismos de composição livre. A partir dessas observações tipológicas, o autor constatou uma similaridade entre as gravuras presentes nos sítios Petroglifos de Corumbá e de La Cruz. Esse estudo considera que há uma continuação de representação parcial entre os sítios, pois algumas categorias dos grafismos não estão presentes em ambos os sítios. Ainda na Chiquitania, foram documentados sítios com pinturas rupestres na serra de San José de Chiquitos, no vale do Rio Tucabaca e serras de Santiago e Chochís, Cerro Banquete (Kaifler, 1997; Calla 2007; Téllez, 2007; López, 2006), mas não apresentam conexão com os sítios de gravuras rupestres.

Por outro lado, petroglifos da Chiquitania apresentam semelhanças com as representações e técnicas nas confecções dos grafismos na região do Maciço do Urucum, localizado no território brasileiro, numa área de fronteira entre a Bolívia e o Brasil. Os sítios de registros rupestres apresentam um conjunto de gravuras, tendo como suporte principal bancadas lateríticas e, eventualmente, blocos de rocha provenientes dos morros de baixa altitude.

No Maciço do Urucum, os registros rupestres estão sobre um tipo de terreno denominado de bancadas lateríticas, que estão fora do alcance das cheias. Conforme Cardoso *et al.* (2000:107), suas características são de “relevo plano ou quase plano, e são formadas por camadas de material laterítico endurecido, de natureza ferrífera”. De acordo com Takahasi (2010), a vegetação associada a essas bancadas são da família *Fabaceae* e *Poaceae*, denotando um caráter campestre e com presença de matas decíduais e semidecíduais. Ao redor do Maciço do Urucum, há várias bancadas lateríticas, que eventualmente apresentam sítios de arte rupestre constituídos por um complexo de cinco sítios com petroglifos (MS-CP-01, MS-CP-02, MS-CP-03, MS-CP-04 e MS-CP-41), com aproximadamente 3.300 m² de grafismos, denominados de Petroglifos de Corumbá (Fig. 1), que foram parcialmente documentados por Passos (1975), Girelli (1994) e Hackbart (1997).

Os estudos realizados por Girelli (1994), através de um enfoque tipológico, determinou a técnica de produção das gravuras e identificou os motivos que são utilizados na formação dos vários painéis e as relações existentes entre os sítios com petroglifos. Também estabeleceu algumas semelhanças com sítios de outras áreas com simbologia e lógica de composições semelhantes. A autora estabeleceu uma tipologia para os sítios de gravura rupestre do Pantanal em termos de grafismo, produção e suporte físico, percebendo-se que os conjuntos estão organizados de duas formas:

“[...] a primeira é de agrupamento de grafismos variados predominantemente justapostos, sem conexão física entre eles; algumas vezes se percebe que estes grafismos têm uma relação intencional, como por exemplo as pisadas agrupadas ou enfileiradas. A segunda forma de organização é de grafismos variados ligados por longos sulcos e acompanhados por outros.” (GIRELLI, 1994:150)

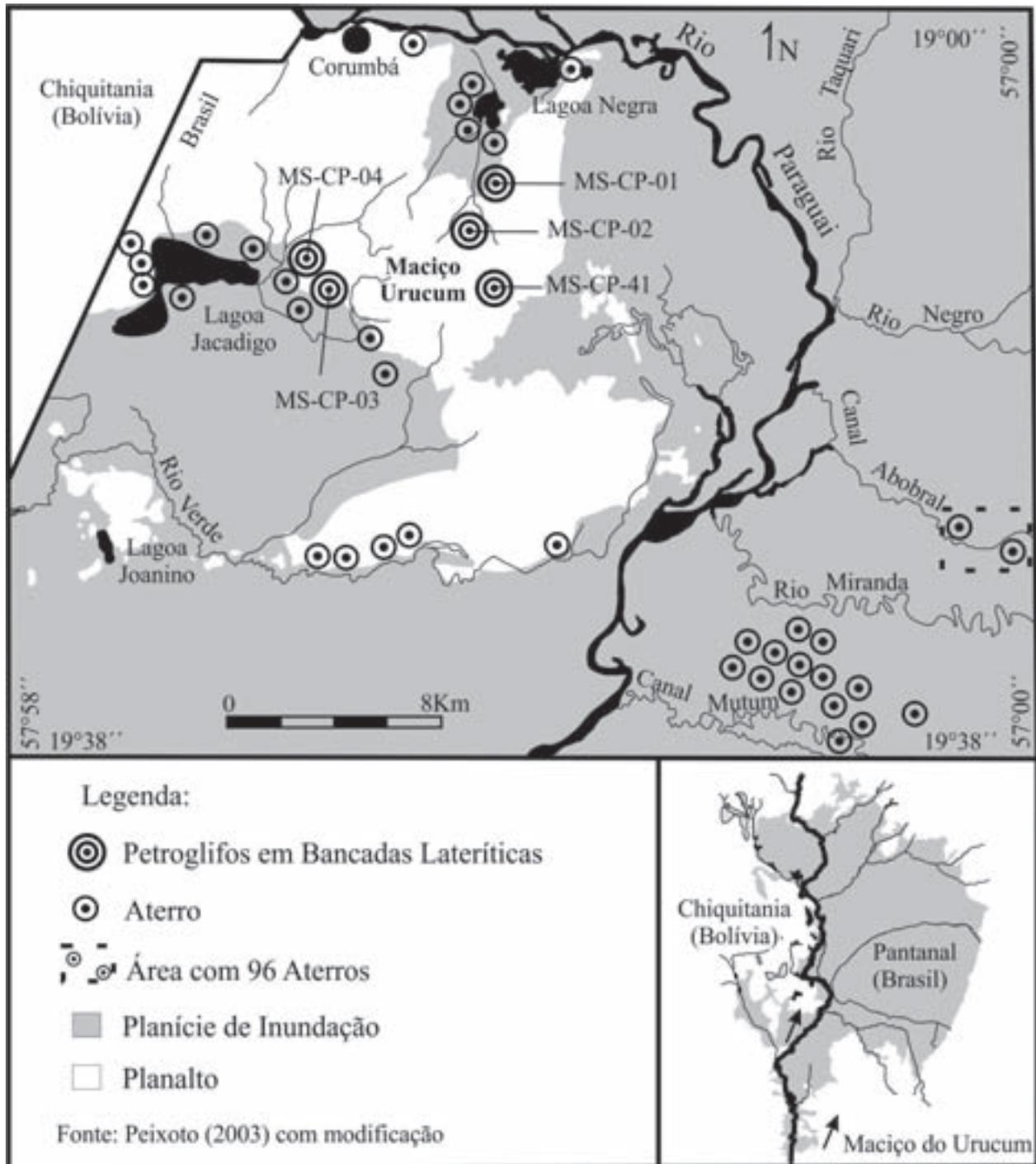


Figura 1 – Distribuição dos sítios com petroglifos localizados nas bancadas lateríticas do Maciço do Urucum e dos sítios Aterros na planície pantaneira, Corumbá/MS.

Em ambos os sítios, os tipos e a composição dos conjuntos são semelhantes, diferindo apenas na variedade, qualidade e superfície coberta, indicando que os sítios formam um só conjunto. Essas gravuras assemelham-se às existentes no Alto Tocantins e no Alto Araguaia, as quais foram incorporadas por Girelli (1994) no “Complexo Estilístico Simbolista Geométrico Horizontal”. Em relação aos produtores das gravuras rupestres, Girelli (1994) apresenta a seguinte hipótese:

“O fato de encontrarmos nos quatro sítios o mesmo tipo de suporte, a mesma técnica de produção, a mesma simbologia e a mesma lógica na composição dos painéis, nos leva a pensar que tenham sido produzidos por uma mesma cultura, que supomos seja a dos construtores dos aterros nas áreas alagadiças. Os grafismos usados, especialmente os longos sulcos sinuosos que estruturam grande parte dos sítios, estão mais próximos da representação desse ambiente do que da simbologia conhecida da cultura Tupi-guarani que ocupa área limítrofe dos mesmos sítios.” (Girelli, 1994:152)

Assim, a arte rupestre da Chiquitania e do Maciço do Urucum são representados por grafismos em baixo relevo, presentes em lajedos horizontais e em blocos de rochas. Os grafismos e a composição cenográfica sugerem que pertencem ao mesmo horizonte cultural, pois apresentam motivos geométricos semelhantes, em que as representações dos animais são minoritárias, ocorrendo apenas algumas pisadas de aves que podem ter outros significados e não estarem relacionadas essencialmente aos animais. Os grafismos são confeccionados a partir do uso da técnica de percussão e polimento, com movimentos retilíneos e curvilíneos, resultando em sulcos que delineiam figuras geométricas de composição livre.

As eventuais mudanças verificadas nos registros rupestres, seja por promoção interna do grupo ou por influência externa atribuída à chegada de outra etnia, devem ser acompanhadas pela contextualização dos assentamentos adjacentes. No Pantanal, existem dezenas de Aterros distribuídos na planície pantaneira, que parecem pertencer ao grupo responsável pelos registros rupestres (Fig. 1). De acordo com Peixoto (2005), a estratégia de ocupação da paisagem pelos grupos indígenas pré-coloniais está associada à distribuição de um conjunto de Aterros, que inclui um ou mais locais com registros rupestres.

Os sítios com petroglifos do Maciço do Urucum e da Chiquitania, possuem representação gráfica semelhantes, mas não pertencem, necessariamente, ao mesmo grupo étnico. Peixoto (2013) realizou estudos a montante do Maciço do Urucum, num conjunto de sítios com petroglifos, e observou que há elementos gráficos organizados de forma semelhantes entre si, que poderiam representar um estilo presente na Chiquitania e no Pantanal:

“[...] denominamos de Estilo Chiquitania-Pantanal o conjunto cenográfico das gravuras que mantêm um padrão de seleção das rochas-suporte em lajedos horizontais e afloramentos, da técnica de elaboração por percussões e fricção, dos motivos geométricos com círculos concêntricos, círculos isolados e agrupados, triângulos, retângulos, conjunto de cúpulas, longos sulcos que são conectados a grafismos geométricos e grafismos com motivos livres, que necessitam de uma descrição formal.” (Peixoto 2013:20)

A simbologia dos sítios de gravuras está associada a um meio de comunicação ou mesmo a uma pré-escrita, e não se caracteriza por representações isoladas. A distribuição espacial dos registros rupestres possui arranjos e elementos gráficos que podem significar a presença de grupos com identidade própria para cada conjunto de sítios, que apresentam uma linguagem gráfica de

feição estética e cognitiva do trabalho, assim como da coparticipação de vários indivíduos, talvez de sucessivas gerações, estimulados pela vontade de manter e registrar sua identidade étnica nas superfícies rochosas.

Nesse contexto, as bancadas lateríticas de Corumbá apresentam superfícies adequadas para prática de desenhos picturais com espaços amplos que possibilitam a articulação entre um conjunto de grafismos. Por outro lado, são locais expostos à ação direta da chuva e à radiação solar, dificultando a preservação de possíveis pinturas rupestres. Os grafismos escavados na rocha possuem a capacidade de preservar ao longo das gerações as suas identidades, através de uma série de símbolos articulados entre si.

Evidentemente, que a escolha das bancadas lateríticas para prática pictural está relacionada à posição estratégica com relação ao acesso a planície de inundação, aos córregos intermitentes e aos seus assentamentos. São locais de encontro entre os indivíduos para estabelecer reforços de sua identidade étnica e estabelecer alianças entre os indivíduos. O conjunto dos símbolos presentes em cada sítio parece representar a tradução manual de um conteúdo verbal conhecido por um ou vários conjuntos de grupos humanos, que parece indicar função cerimonial (Fig. 2, 3, 4 e 5).

Os Petroglifos de Corumbá apresentam uma linguagem gráfica de feição estética e cognitiva elaborada por grupos indígenas que, possivelmente, se estabeleceram na planície pantaneira, pelo menos antes da chegada dos europeus, pois nas proximidades há sítios Aterros pertencentes a grupos indígenas, que ocuparam a região no período pré-colonial. Esses registros são os resultados do trabalho da coparticipação de vários indivíduos, talvez de sucessivas gerações, imbuídos de manter e registrar sua identidade étnica nas bancadas lateríticas de Corumbá.

Enfim, as gerações do presente devem preservar as bancadas lateríticas, pois são habitats restritos e os locais com petroglifos representam patrimônios culturais nacionais que estão protegidos pela Constituição Brasileira e pela Lei nº 3.924/1961. Atualmente os sítios petroglifos de Corumbá estão localizados em propriedades privadas que mantêm os locais com gravuras protegidos e sob guarda, mas é necessária a orientação de especialistas na preservação de sítios de arte rupestre com a participação do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN).

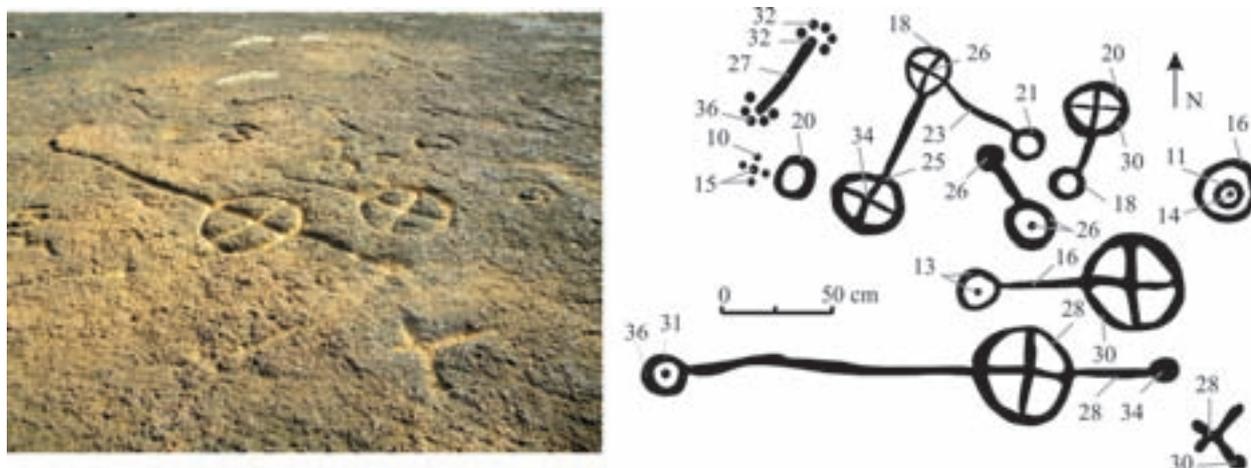


Figura 2 – Petroglifos nas bancadas lateríticas do Maciço do Urucum, sítio MS-CP-01, Corumbá/MS. Ao lado, cópia das gravuras com suas respectivas profundidades em milímetros.

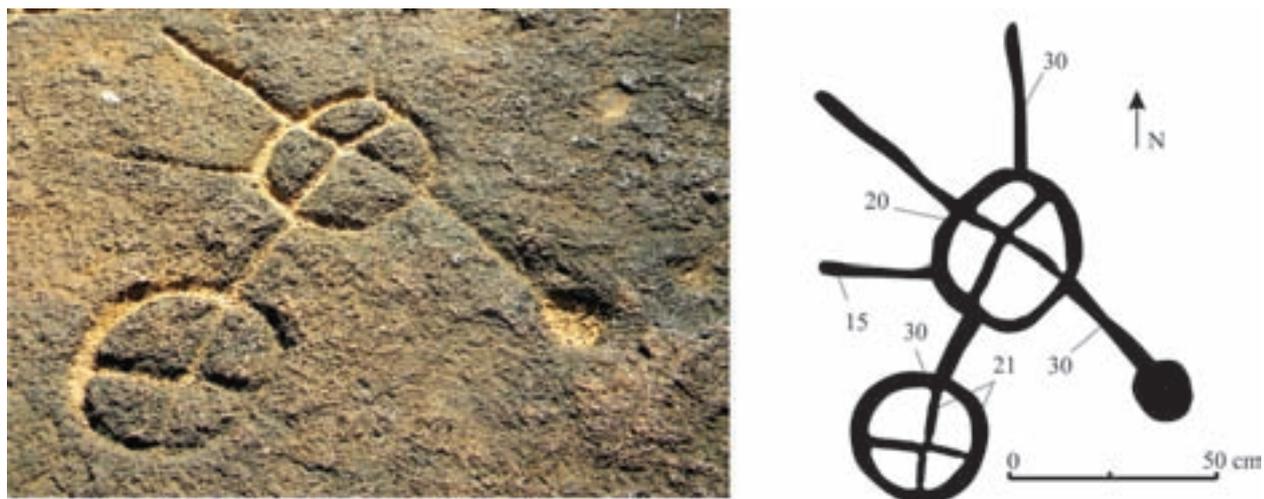


Figura 3 – Detalhe de Petroglifo nas bancadas lateríticas do Maciço do Urucum, sítio MS-CP-01, Corumbá/MS. Ao lado, cópia de gravura com suas respectivas profundidades em milímetros.



Figura 4 – Petroglifos nas bancadas lateríticas do Maciço do Urucum, sítio MS-CP-03, Corumbá/MS. Ao lado, cópia das gravuras com suas respectivas profundidades em milímetros.

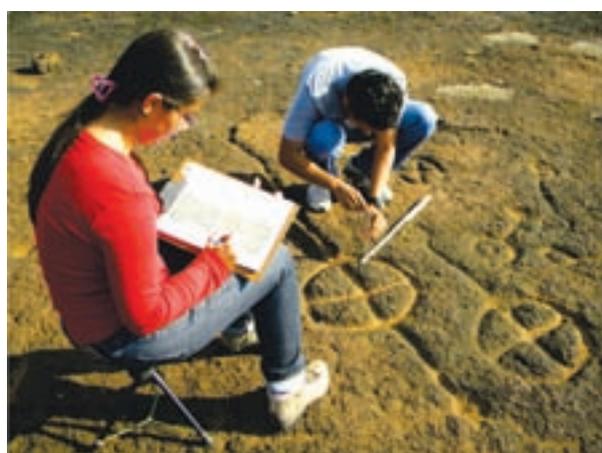


Figura 5 – Documentação dos Petroglifos de Corumbá pela equipe do Laboratório de Arqueologia do Pantanal (LAPan) da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), e cópia através da técnica da frotagem pelo artista plástico Santiago Plata para exposição em Corumbá.

Referências Bibliográficas

- Calla, M.S. 2007. Documentación de las Pinturas de la Cueva de Juan Miserandino, Reserva Municipal del Valle de Tucavaca, Depto. de Santa Cruz. *Sociedad de Investigación del Arte Rupestre de Bolivia (SIARB), Boletín*, 21: 17-37.
- Cardoso, E.L.; Oliveira, H.; Amaral, J.A.M.; Ker, J.C.; Pereira, N.R.; Santos, R.D.; Tôsto, S.G.; Spera, S.T. & Carvalho Junior, W. 2000. Pedologia. In: Silva, J.S.V. *Zoneamento Ambiental da Borda Oeste do Pantanal: Maciço do Urucum*. Brasília: Embrapa. p. 95-109.
- Girelli, M. 1994. *Lajedos com gravuras na região de Corumbá, MS*. Dissertação de Mestrado. São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos. 176 p.
- Hackbart, P.S. 1997. *Análise do Petroglifo MS-CP-41, Corumbá*. Monografia de Graduação. São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos.
- Hetzel, B. & Negreiros, S. 2007. *Pré-história do Brasil*. Rio de Janeiro: Manati. 270 p.
- Kaifler, C. 1997. Yanamí, un sitio de arte rupestre en el Depto. de Santa Cruz. *Sociedad de Investigación del Arte Rupestre de Bolivia (SIARB), Boletín*, 11: 68-75.
- Kaifler, C. 1999. Los Petroglifos de Capinsal, Depto. de Santa Cruz. Bolivia. *Sociedad de Investigación del Arte Rupestre de Bolivia (SIARB), Boletín*, 13: 53-63.
- Kaifler, C. 2002. El Sitio de Petroglifos “Canón de los Tocos”, Departamento de Santa Cruz, Bolivia. Contribuciones al Estudio del Arte Rupestre Sudamericano. *Sociedad de Investigación del Arte Rupestre de Bolivia (SIARB), Boletín*, 16: 67-93.
- Kaifler, C. 2006. Los Petroglifos del sitio La Cruz, Mutún, Depto. de Santa Cruz, Bolivia. *Sociedad de Investigación del Arte Rupestre de Bolivia (SIARB), Boletín*, 20:18-45.
- López, M.R.M. 2006. Arqueología de Bolivia. In: Gonzáles, X.M. *Historia de Bolivia; período prehispánico 1*. La Paz: Fundación Cultural del Banco Central de Bolivia. p. 49-184.
- Passos, J.A.M.B. 1975. Alguns petroglifos em Mato Grosso com apêndice sobre outros do Paraguai e Bolívia. 79 p. Tese de Livre Docência. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- Peixoto, J.L.S. 2003. A ocupação dos povos indígenas pré-coloniais nos grandes lagos do Pantanal Sul-mato-grossense. Tese de Doutorado. Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. 262 p.
- Peixoto, J.L.S. 2005. Relação entre os Aterros e níveis hidrológicos do Rio Paraguai, Pantanal (MS). In: Congresso da Sociedade Brasileira de Arqueologia, 13. Campo Grande/MS. Campo Grande: Ed. Oeste, p. 1-11. Anais...
- Peixoto, J.L.S. 2013. Limites e continuidades dos registros rupestres na Chiquitania/Bolívia e no Pantanal/Brasil: o Estilo Chiquitania-Pantanal. *Cuadernos Del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano, Série Especiales*, 1(2): 11-22.

- Pereira, E. 2008. Arqueologia na região da serra das Andorinhas. In: Gorayeb, P.S.S. *Parque Martírios-Andorinha: conhecimento, história e preservação*. Belém: EDUFPA. p. 131-153.
- Prous, A. 1992. *Arqueologia brasileira*. Brasília: Editora UnB. 605 p.
- Prous, A. 2007. *Arte Pré-histórica do Brasil*. Belo Horizonte: C/Arte. 127 p.
- Riester, J. 1981. Arqueología y arte rupestre en el oriente boliviano. Cochabamba / La Paz: Editorial Los Amigos del Libro. 234 p.
- Schmitz, P.I.; Moehleke, S. & Barbosa, A.S. 1979. Sítios de petroglifos nos projetos Alto-Tocantins e Alto-Araguaia, Goiás. *Pesquisas, Antropologia*, 30: 1-73.
- Souza, A.A.C.M.; Simonsen, I.; Souza, M.A.C.M.; Oliveira, A.P.; Souza, S.F.M. & Soares, N.G. 1979. *Projeto Bacia do Paraná – II; Petroglifos da Chapada dos Veadeiros – Goiás*. Rio de Janeiro: Instituto de Cultura Brasileira. 91 p.
- Takahasi, A. 2010. Ecologia da vegetação em bancadas lateríticas em Corumbá, MS. Tese de Doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo. 255 p.
- Téllez, F.T. 2007. Registro y Diagnóstico de Conservación de las Pinturas de la Cueva de Mataral, Depto. de Santa Cruz. *Sociedad de Investigación del Arte Rupestre de Bolivia (SIARB), Boletín*, 21: 46-67.

O VALE DO PEIXE BRAVO: ÁREA PRIORITÁRIA PARA A CONSERVAÇÃO DOS GEOSSISTEMAS FERRUGINOSOS NO NORTE DE MINAS GERAIS

Flávio Fonseca do Carmo, Lara Christina de Campos, Felipe Fonseca do Carmo & Rogério Tobias Junior

Introdução

O Vale do Rio Peixe Bravo traz uma diversidade de atributos ambientais e culturais, objetos de conservação e serviços ecossistêmicos que elevam a importância da região para a preservação desse geossistema (Carmo *et al.*, 2012). Entre os atributos já documentados estão o sistema cárstico ferruginoso, contendo dezenas de cavidades naturais subterrâneas; as paleotocas, representando o primeiro registro no Brasil em rochas ferruginosas; e a flora rara (Carmo *et al.*, 2011a; 2011b; Jacobi *et al.*, 2015). Existem ainda outros relevantes objetos de conservação constituídos pelos invertebrados troglomórficos e por um potencial arqueológico e histórico atrelados ao sítio espeleológico, todos com lacuna de conhecimento científico para a região, além dos serviços ambientais como a recarga e o armazenamento de água.

O objetivo deste capítulo foi descrever alguns destes atributos ambientais, destacando seus aspectos singulares, além de contextualizá-los sob a perspectiva de um planejamento para a conservação da diversidade biológica frente às ameaças e pressões presentes e projetadas.

Contexto geográfico

O Vale do Peixe Bravo abrange os municípios de Grão Mogol, Fruta de Leite, Rio Pardo de Minas, Riacho dos Machados e Serranópolis de Minas (Figs. 1 e 2). Os geossistemas ferruginosos do Vale do Peixe Bravo estão distribuídos principalmente ao longo de 60 km, em direção su-sudoeste/nor-nordeste, no lado oriental da Cadeia do Espinhaço. Localmente, os geossistemas são constituídos predominantemente pelos metadiamicritos hematíticos do Membro Riacho Poções, da Formação Nova Aurora, além de formações ferríferas bandadas (itabiritos) e pelas cangas associadas. A composição dessas cangas é praticamente limonita pura, apresentando ainda constituintes argilosos e fragmentos detríticos de minério rico (Vilela, 1986).

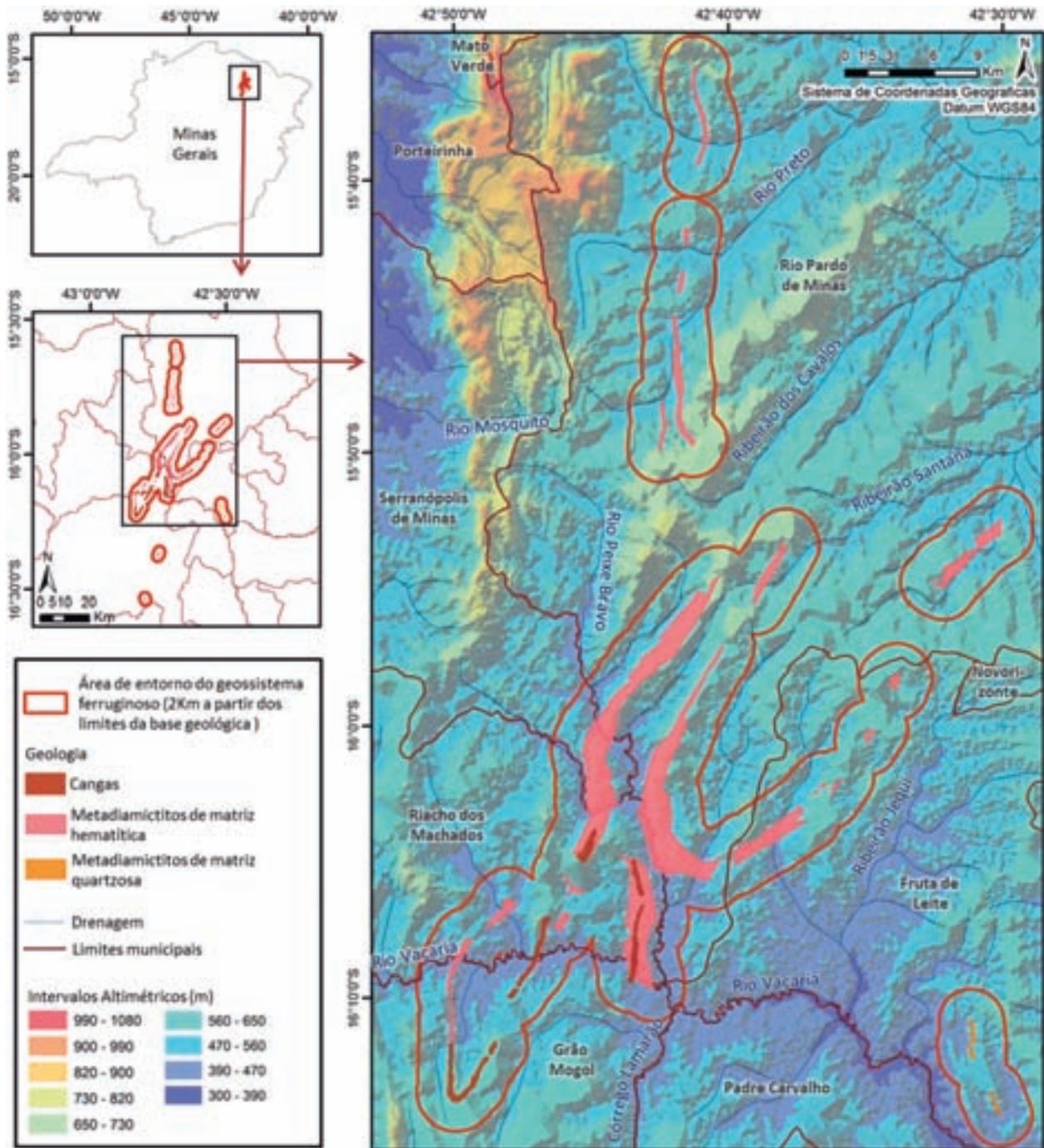


Figura 1 – Região do Vale do Rio Peixe Bravo com destaque para os geossistemas ferruginosos compostos por cangas e metadiamicititos de matriz hematítica, norte de Minas Gerais. Adaptado de: COMIG (1997); IBGE (2013); Miranda (2005).

A paisagem é composta por chapadas, nas quais, onde houve o enriquecimento superficial das rochas hematíticas, desenvolveram-se extensas áreas de cangas que atingem espessuras acima de 20 m. Ocasionalmente, ocorrem morros residuais de itabirito, como o Morro Grande e o Morro do Capim (Fig. 3), ambos com altitudes superiores a 1000 m.



Figura 2 – Plano geral de extensas áreas naturais do Vale (A) do Rio Peixe Bravo (B), MG. Fotos: Flávio do Carmo.

A região está contida no “Polígono das Secas”, território que compõe o Semiárido brasileiro, caracterizado pelo *deficit* hídrico e isoietas das precipitações médias anuais de 800 mm (MIN, 2005). Além do Peixe Bravo, destaca-se o Rio Vacaria, ambos integrantes da bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha.

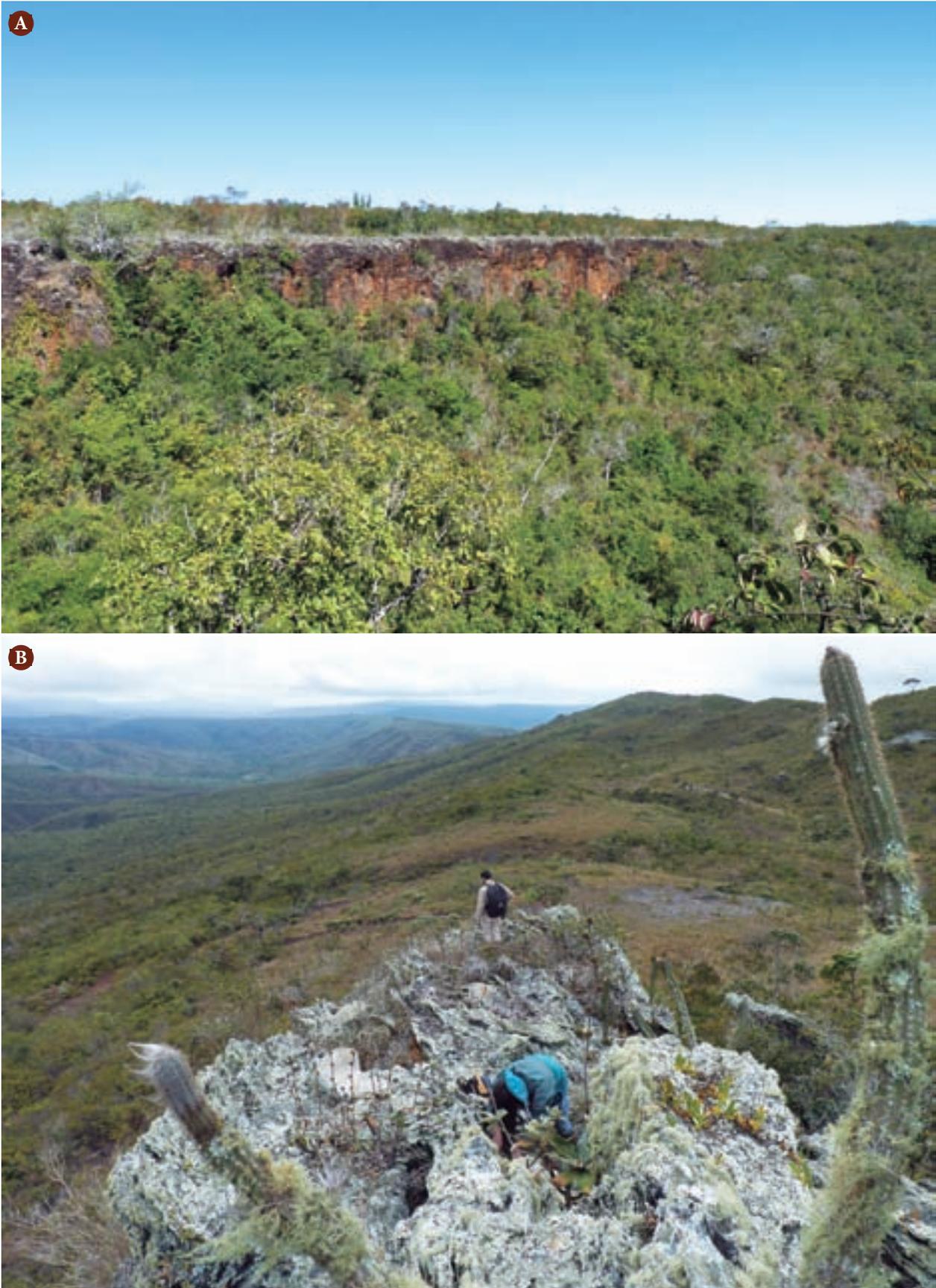


Figura 3 – A) Chapada de canga localizada em Rio Pardo de Minas. B) Morro do Capim, em primeiro plano um afloramento de itabirito, município de Riacho dos Machados, MG. Fotos: Flávio do Carmo.

Vegetação

O vale do Peixe Bravo abriga extensas áreas de vegetação nativa (Fig. 4). A região apresenta uma heterogeneidade de fitofisionomias e elevada riqueza de espécies, com elementos raros e ameaçados. Essas características, em boa parte, estão relacionadas à proximidade com o Cerrado, a Caatinga e a Mata Atlântica. Predominam fitofisionomias do Cerrado, incluindo manchas importantes de Cerradão, estes associados aos latossolos. Nas drenagens ocorrem matas ciliares que, ao longo das vertentes, são substituídas por florestas estacionais semidecíduais – destacando a presença da braúna (*Melanoxylon brauna* Schott), espécie ameaçada de extinção na categoria vulnerável (MMA, 2014) – e por florestas estacionais decíduais. Nas chapadas ocorre uma vegetação arbóreo-arbustiva conhecida como “carrasco” e caracterizada por espécies intensamente ramificadas, entremeadas por cactos (Pirani *et al.*, 2003). Alguns autores caracterizaram esta vegetação como formações de transição cerrado-caatinga (Meguro *et al.*, 1994; Harley, 1995).

Os afloramentos de cangas constituem fortes filtros ambientais para as espécies que ocorrem na matriz vegetacional (Fig. 5), representados pelas condições estressantes dos afloramentos ferruginosos como solos muito rasos, ácidos e pobres em nutrientes, temperaturas elevadas e



Figura 4 – Formações florestais na região do Peixe Bravo. A) Floresta Estacional Semidecidual; B) Manchas de Cerradão; C) indivíduos de braúna (*Melanoxylon brauna* Schott). Fotos: Flávio do Carmo.



Figura 5 – Contraste entre a vegetação aberta e esparsa das cangas e a vegetação arbustivo-arbórea da matriz circundante, resultado do forte filtro ambiental representado pelas condições estressantes dos afloramentos ferruginosos. Foto: Flávio do Carmo.

baixa humidade (Jacobi *et al.* 2015). Nas cangas do Peixe Bravo já foram identificadas quatro espécies citadas no catálogo de plantas raras do Brasil (Giulietti *et al.*, 2009): *Encholirium reflexum* Forzza & Wand. (Bromeliaceae); *Arrojadoa eriocaulis* Buining & Brederoo, *Micranthocereus violaciflorus* Buining e *Pilosocereus fulvilanatus* (Buining & Brederoo) Ritter (Cactaceae). Nos afloramentos ferruginosos predominam duas fisionomias: vegetação herbáceo-subarbustiva, ocorrendo nas áreas abertas, e os capões arbustivo-arbóreos (Fig. 6). Nas áreas abertas ocorrem três tipos principais de comunidades: a vegetação epilítica; as ilhas formadas por espécies clonais (reprodução vegetativa); e as espécies associadas às manchas de solo acumuladas em fendas ou depressões do substrato. Entre as espécies epilíticas mais frequentes está o cacto endêmico de Minas Gerais *Discocactus placentiformis* (Lehm.) K.Schum. Várias espécies de *Vellozia* e a bromélia rara *Encholirium reflexum* representam algumas espécies clonais. Sempre associados a manchas de solos, ocorrem subarbustos de *Pffafia siqueiriana* (Marchioretto & Miotto) e *Tibouchina heteromalla* (D. Don) Cogn. e a bromélia do gênero *Orthophytum*, ainda não descrita pela ciência.

Nos capões, quase sempre localizados nas bordas das cangas, onde a couraça transiciona para um solo laterítico mais profundo, predominam espécies arbustivo-arbóreas de Fabaceae, Malpighiaceae, Malvaceae, Myrtaceae, Rubiaceae, Vochysiaceae, além de Cactaceae e Bromeliaceae.

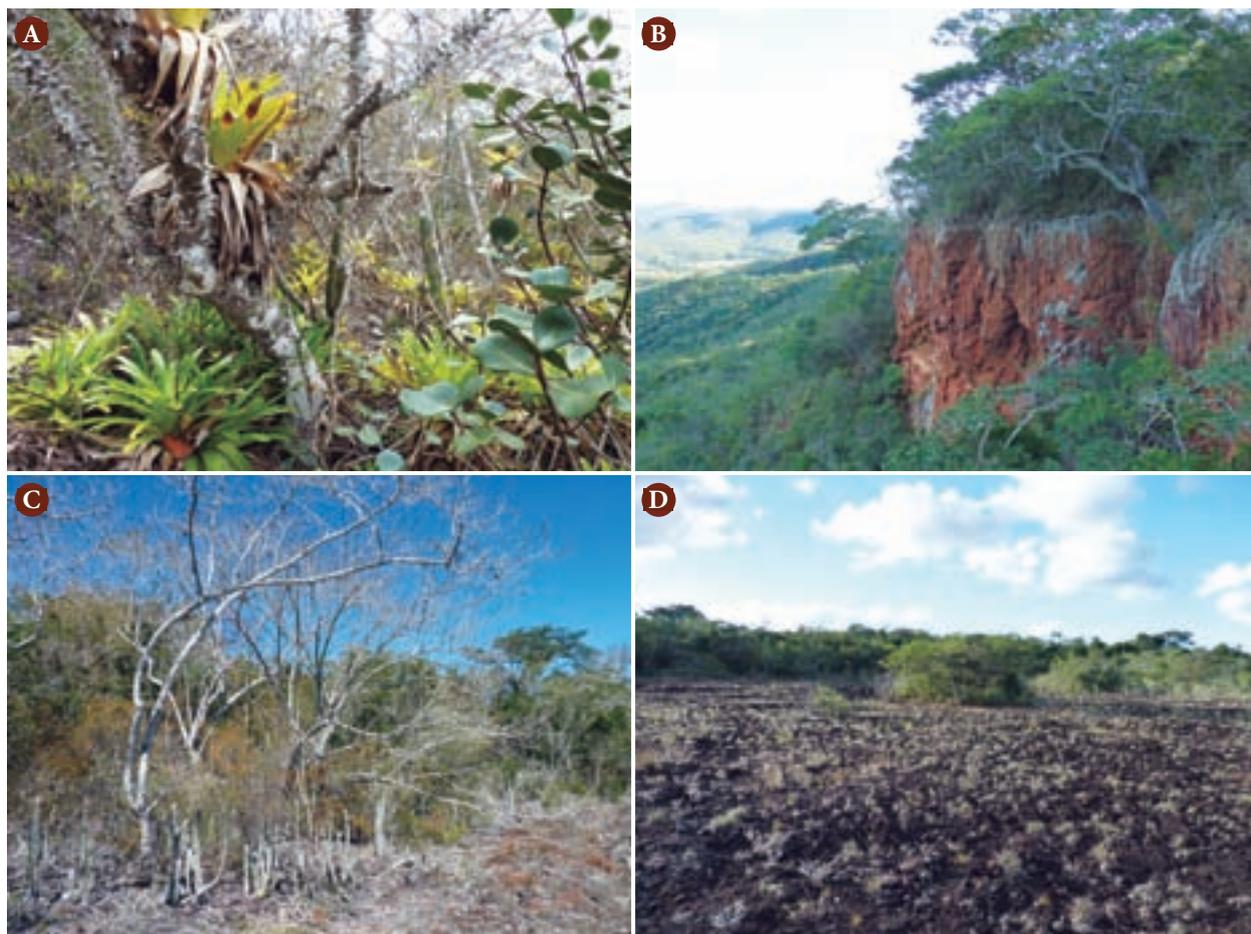


Figura 6 – Principais fisionomias que ocorrem nas cangas. Os capões de mata (decidual ou semidecidual) são frequentes nas bordas dos afloramentos e em setores onde ocorre maior acúmulo de solo (A, B e C). Vegetação herbácea-subarbustiva (D); em primeiro plano, observar elevado número de indivíduos do cacto endêmico de Minas Gerais *Discocactus placentiformis* (Lehm.) K. Schum. Fotos: Flávio do Carmo.

O Registro arqueológico e histórico nas cavidades naturais do Vale do Peixe Bravo

A região norte mineira é afamada internacionalmente em razão de seu rico acervo arqueológico, principalmente em áreas cársticas como no vale do Rio Peruaçu e na região de Montalvânia. Além de excepcional repertório rupestre pré-colonial, inscrito tanto em suportes calcários quanto quartzíticos, o contexto subsuperficial evidenciado em escavações a colocou em destaque, em razão da preservação ímpar de estratigrafias e materiais como a cerâmica, lítico lascado e polido, sepultamentos, material vegetal entre outros (Prous, 1996/97; Ribeiro & Isnardis, 1996/97; Ribeiro, 2006).

O contexto arqueológico em áreas de geossistemas ferruginosos norte-mineiros, por outro lado, apresenta pequeno destaque no cenário científico, principalmente pelo parco conhecimento dessas áreas até os últimos anos. A evidenciação de coberturas ferruginosas na região norte,

notadamente na região do Vale do Rio Peixe Bravo, recebeu recente destaque devido à ocorrência de cavidades e paleotocas (ver capítulo 5), assim como locais com grafismos rupestres e vestígios de ocupações históricas. As descobertas colocam esses ambientes em destaque para a arqueologia, evidenciando a urgente necessidade de realização de pesquisas em seus domínios.

Sendo o registro rupestre a categoria de vestígios mais visível aos observadores hodiernos, foi também o responsável pelo reconhecimento científico das ocupações humanas nessas áreas. Manifestos de modos distintos daqueles observados em áreas calcárias e quartzíticas, os vestígios antrópicos nessas áreas carecem ainda de mais pesquisas, mas sugerem grande singularidade em suas manifestações.

No sistema cárstico ferruginoso do Peixe Bravo (Carmo *et al.*, 2011a) já foram descritas dezenas de cavidades naturais subterrâneas (Fig. 7), algumas abrigando espeleotemas singulares e possíveis vestígios de manifestações humanas. De acordo com Carmo (2012):

As cavidades do Vale do Peixe Bravo se destacam das demais cavernas ferruginosas catalogadas em outras regiões do Brasil por possuírem características distintas de geodiversidade em sua formação, dimensões notáveis em seu volume e espeleotemas inéditos para formações ferruginosas.

A caverna das Maritacas, no município de Rio Pardo de Minas, contém alguns vestígios provavelmente associados ao engenho humano. Como se pode ver na Figura 8, linhas paralelas alongadas aparentemente incisadas e/ou abrasadas, com menos de 0,5 cm de profundidade, cerca de 3mm de largura com perfis em V e/ou U atravessam feições morfológicas naturais da rocha diamictítica ferruginosa.

Uma primeira investida no sentido de elucidar sua origem antrópica foi a realização de um modelo da superfície por meio da aplicação de Imagem de Transformação de Reflectância¹ (Figura 8a). A técnica consiste na captura sequencial de fotografias de um mesmo objeto, com alteração da posição de iluminação artificial. As imagens resultantes são posteriormente processadas por *software* específico, gerando um mapeamento polinomial de textura², que permite manipular as condições de iluminação e renderização digital, a fim de melhorar contrastes e revelar fenômenos superficiais (Malzbender, *et al.*, 2001). O produto final permite o realce e a evidenciação de marcas pouco visíveis a olho nu, conquanto se adequa a posição da iluminação virtual sobre o objeto. Pode-se, também, aplicar filtros que simulam fontes distintas de luz e introduzem especularidade³ sobre a superfície.

Como resultado da aplicação da técnica, denotou-se que os traços são caracterizados por segmentos sobrepostos ou justapostos, provavelmente realizados por meio do atrito de instrumentos com extremidades estreitas sobre o suporte rochoso friável, transpassando depósitos superficiais e espeleotemas agregados à superfície (Figura 8 b, c). Ademais, observa-se grande homogeneidade e

¹ *Reflective Transformation Imaging, RTI.*

² *Polynomial Texture Mapping.* Baseia-se na articulação de cores e iluminação da imagem por meio de uma representação biquadrada de cada texel (Pixel de textura).

³ Simulação de brilho metálico sobre a superfície.

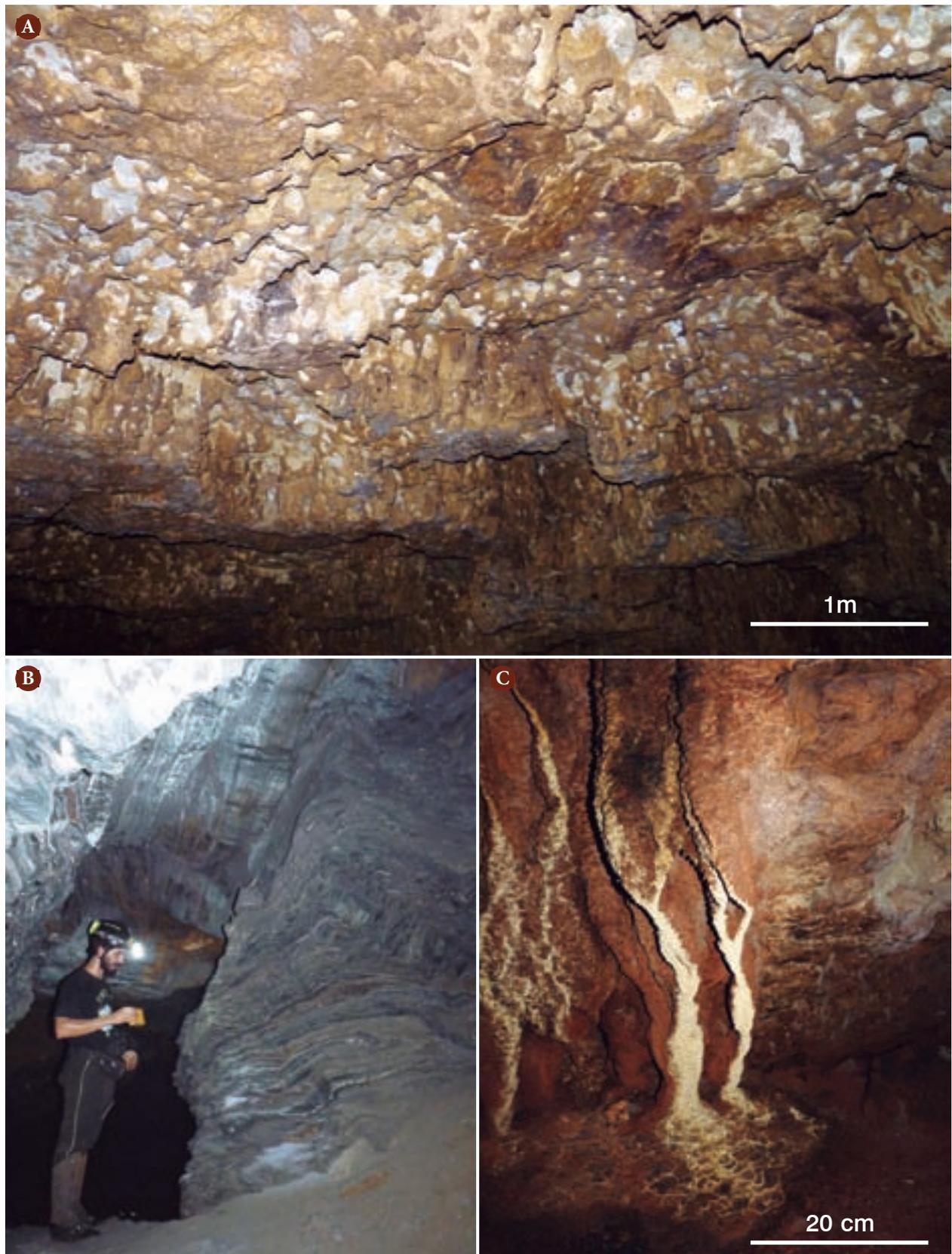


Figura 7 – Cavidades naturais subterrâneas localizadas no vale do Peixe Bravo e desenvolvidas em: rocha hematítica alterada (A), notar a semelhança morfológica entre o teto da cavidade e os corais marinhos; em formações ferríferas bandadas (B); em diamictitos hematíticos/canga (C), notar espeleotemas pouco comuns em cavernas ferruginosas. Fotos: Flávio do Carmo.

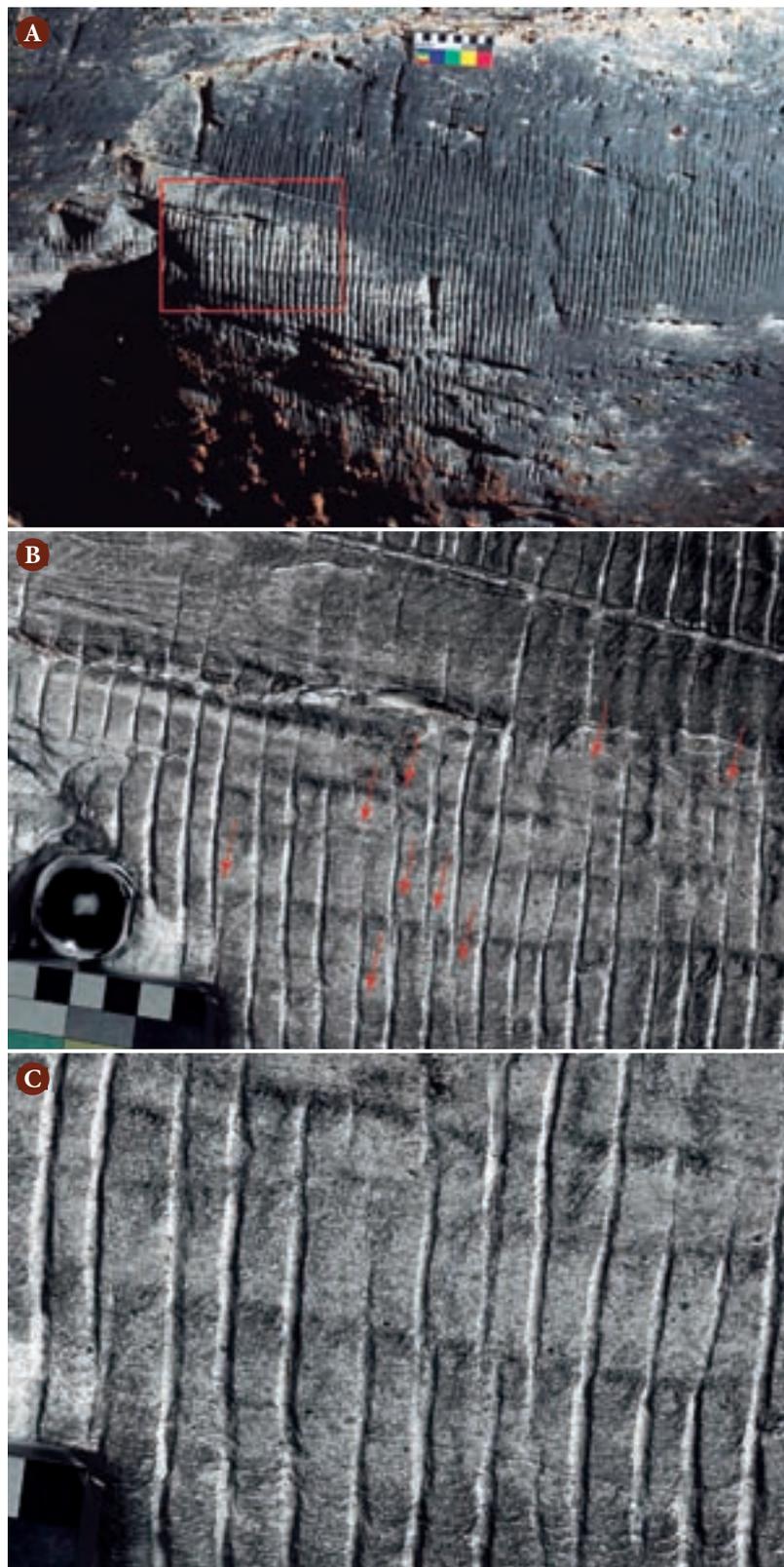


Figura 8 – A) Um dos vários “painéis” representados por incisões verticais paralelas encontradas na Caverna das Maritacas, Rio Pardo de Minas, MG. B) Mapeamento de textura (RTI) com aplicação de especularidade de parte do painel de incisões mais externo da caverna das Maritacas (retângulo vermelho). Notar segmentos desencontrados de incisões (setas vermelhas) que destacam sua origem antrópica. C) Detalhe dos segmentos desencontrados das incisões. Autor: Rogério Tobias Junior.

ritmo em sua composição, distribuídos em porções das paredes, tanto regulares quanto irregulares, usualmente em superfícies verticais ou subverticais, com ocorrência destacada em locais próximos a condutos e canalículos. Esses atributos sugerem sua origem humana e caracterizariam manifestações singulares, até então desconhecidas no norte mineiro. É necessário ainda, porém, realizar novas observações *in loco* para determinar outros atributos de origem antrópica.

No capítulo cinco da presente publicação, Buchmann *et al.* apresentam também a existência de vestígios rupestres associados às formações ferruginosas, manifestas por meio de cúpulas com possíveis pinturas e picoteamento em seu interior e entorno. Tais evidências colocam em foco o contexto arqueológico pré-colonial dos geossistemas ferruginosos no norte de Minas e a urgente necessidade de aprofundar seu conhecimento e proteção.

Já em algumas outras cavernas descritas na região do Rio Peixe Bravo, foram encontradas também pequenas estruturas de pedras de origem antrópica associadas às entradas de três cavidades, numa das quais também ocorre uma concentração de carvões vegetais. Essas pequenas estruturas são compostas por empilhamentos lineares de blocos de canga. As cavidades se inserem no sopé de extensas escarpas ferruginosas, elevadas em relação ao rio e a menos de 500 metros da drenagem. As três cavidades (Tabela 1) estão diante de cânions, um do próprio Rio Peixe Bravo, e outro de um afluente, que a partir delas ou do entorno podem ser observados. As cavidades localizam-se em posições relativamente favoráveis à observação do entorno, das áreas mais planas e do vale, e se encontram próximas de caminhos utilizados pelo menos durante o período histórico.

Tabela 1 - Cavidades com presença de muros de pedra em suas entradas. Retirado de Carmo (2012).

Nome	Desenvolvimento Linear (m)	Altitude (m)	Litotipo
Caverna da Fortaleza	9,6	946	Canga/Rocha alterada
Gruta do Muro	9,6	770	Canga/Rocha alterada
Lapa do Abrigo	9,0	758	Canga/Rocha alterada

As cavernas têm entre seis e dez metros de desenvolvimento linear, mais de três metros de largura em alguns pontos, atingindo até dois metros de altura. As estruturas se encontram instaladas paralelamente à cornija das cavidades ou em seu interior, criando uma ou duas baixas barreiras com blocos rochosos dispostos com junta seca, com até 60 cm de altura e seção retangular/quadrada com extremidades apoiadas nas paredes. Tal morfologia sugere terem sido edificadas como pequenos muros, instalados na parte frontal de três cavernas.

Os muros sob as entradas das cavidades ocorrem tanto de maneira contínua quanto descontínua. Tais características, associadas às dimensões das cavidades, aproximadamente 9 metros de desenvolvimento linear, e suas pequenas entradas podem caracterizar sua aplicação como quebra-vento para ocupações temporárias, como barreiras pouco eficientes para animais ou direcionamento de enxurradas. Outra atribuição funcional possível é a de parapeito defensivo (Figuras 9, 10 e 11).

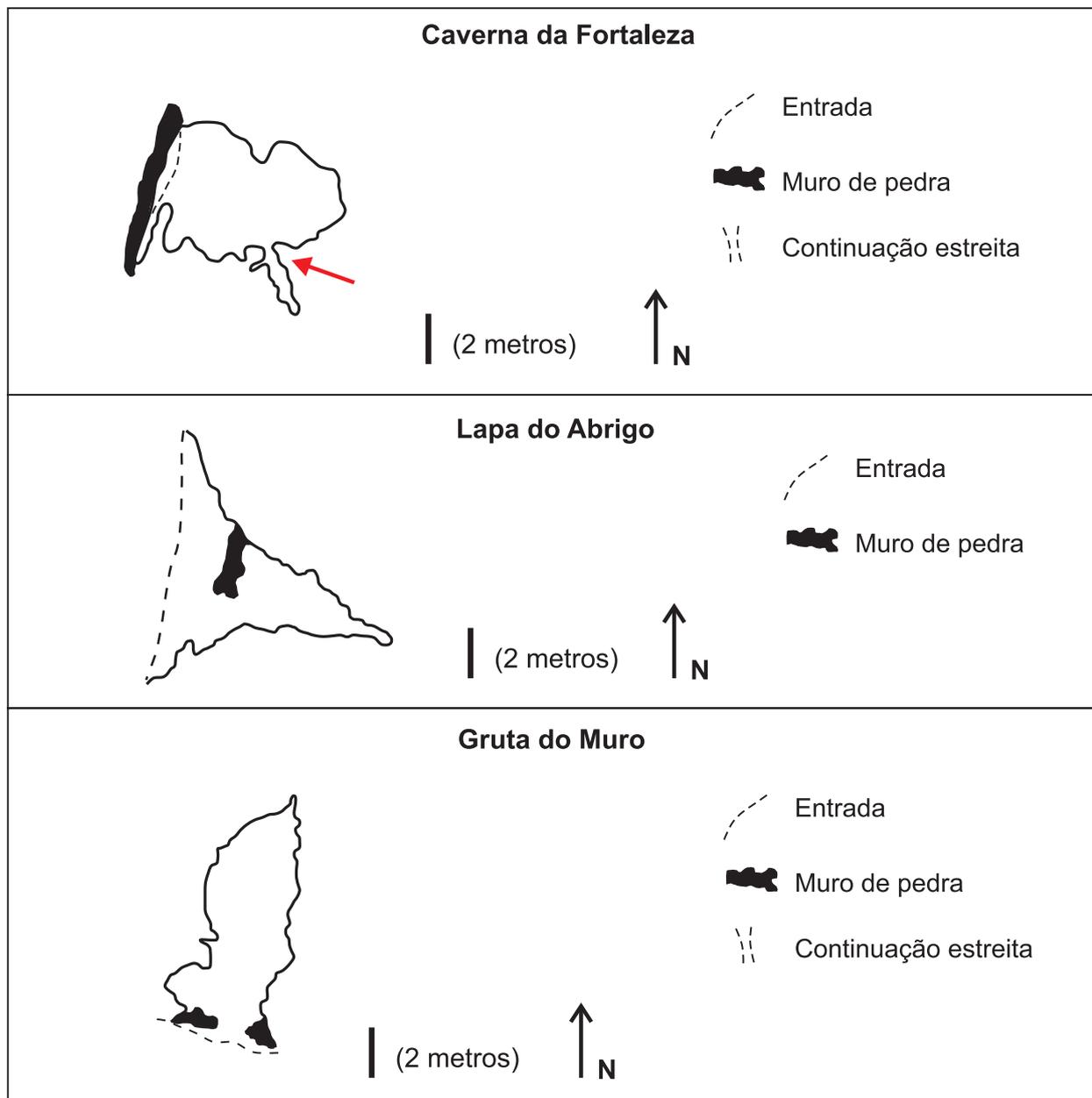


Figura 9 - Croqui de planta baixa das cavidades com presença de muro. A seta vermelha indica o conduto onde foi identificada concentração de carvão na Caverna da Fortaleza. Autor: Felipe Carmo.

Tais evidências destacam a utilização do espaço das cavernas e entorno para o desenvolvimento de atividades específicas, que implicariam a compartimentação do lugar. A carência de bibliografia a respeito das ocupações humanas do período histórico nesses locais, em contraste com as que tratam do pré-colonial, limita a comparação entre os vestígios mencionados com outros semelhantes noutras regiões.

Há, no entanto, outras cavidades e abrigos mineiros onde foram evidenciados vestígios de ocupações históricas de caráter residencial, temporário ou permanente, e acampamentos, em Diamantina/MG (Linke, 2008), Jequitaiá/MG (Tobias Junior, 2010), e também em uma localidade



Figura 10 - Pequeno muro encontrado em frente à Caverna da Fortaleza. A) visão de fora da cavidade. B) visão de dentro da caverna. Fotos: Felipe Carmo.

distante a menos de 70 quilômetros do Rio Peixe Bravo, às margens do baixo curso do Rio Itacambiraçu em Cristália/Grão Mogol - MG (Guimarães & Reis, 2001), entre outros. As ocupações mencionadas na bibliografia estão direta e indiretamente relacionadas a zonas de exploração diamantífera/aurífera e/ou atividade pesqueira. Essas ocupações valem-se da compartimentação do espaço das cavidades com paredes, construção de fogões e fornos, instalação de bancos, mesas e outros implementos utilizando materiais predominantemente locais. Os três sítios arqueológicos semelhantes conhecidos no vale do Rio Peixe Bravo, por sua vez, não são acompanhados de outros vestígios visíveis além dos muros e não compõem modificações para melhoria das acomodações. Não foram identificadas, em superfície, evidências de uso doméstico, cuja possibilidade deve ser mais bem investigada.

Carmo (2012) descreve que, durante sua expedição pelo Vale do Peixe Bravo, foi informado pelos antigos moradores da região de que esses pequenos muros podem ter sido construídos no início do séc. XX, provavelmente por refugiados da “revolta”. O termo é aplicado pelos habitantes sertanejos para referenciar o movimento da Coluna Miguel Costa-Prestes⁴ durante a Grande Marcha da 1ª Divisão Revolucionária⁵, que percorreu cerca de 25.000 quilômetros a pé e a cavalo, entre 1924 e 1927 (Carvalho, 2002).

Com mais de mil homens, a coluna passou pelas regiões sudeste, sul, centro-oeste e nordeste do país, sempre seguida por tropas regulares e/ou por Batalhões Patrióticos⁶, com os quais

⁴ Que ganhou popularidade com o nome de Coluna Prestes.

⁵ Nome dado à tropa resultante da fusão da Coluna Paulista do Major Miguel Costa com a gaúcha comandada por Luís Carlos Prestes, tornando-se o primeiro, General, e o segundo, Coronel.

⁶ Tropas civis que envolviam coronéis e jagunços convocados pelo governo para auxiliar as tropas regulares.

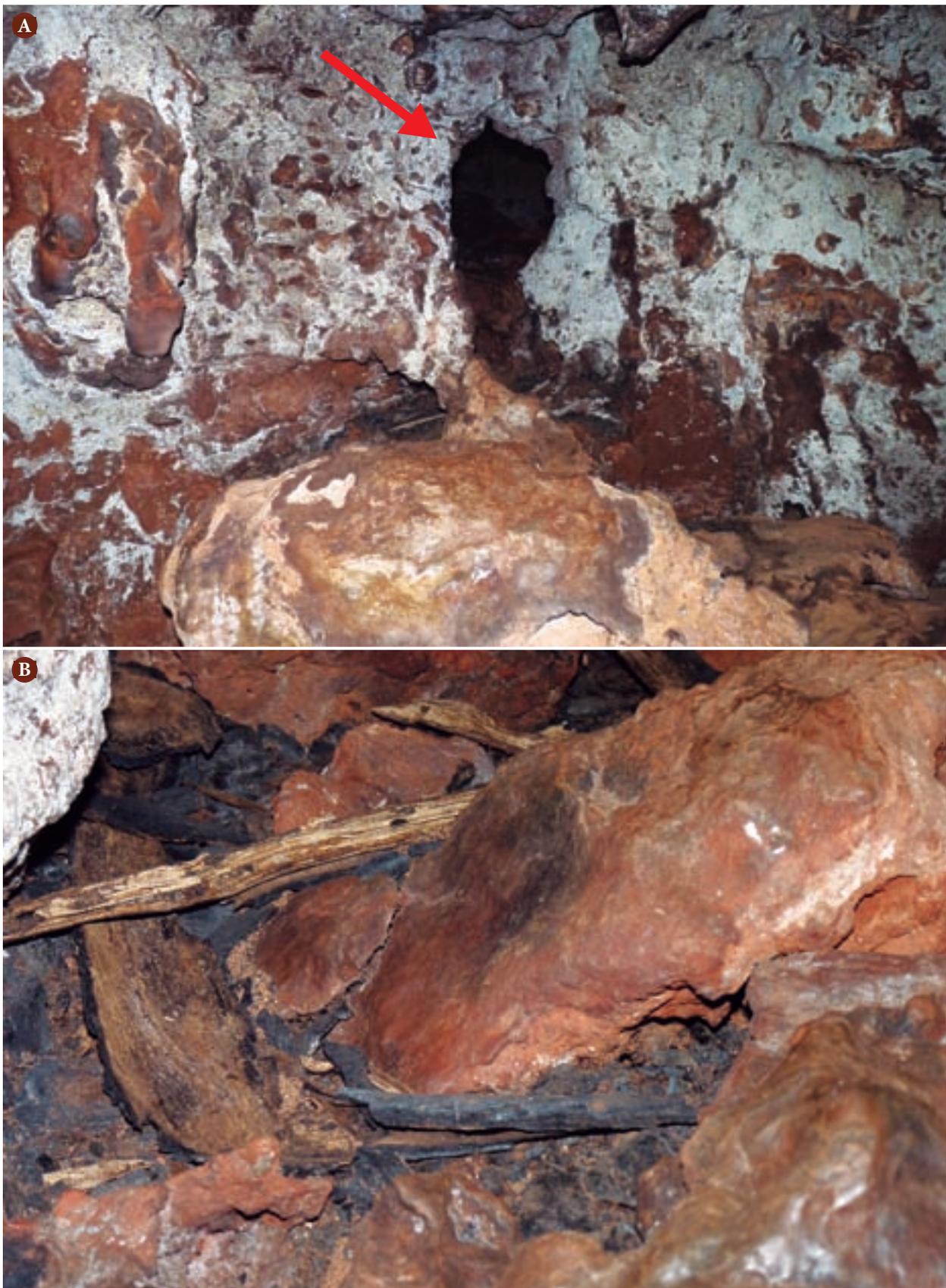


Figura 11 - Registro de carvão no interior da Caverna da Fortaleza. A) localização do conduto onde foi encontrado material vegetal carbonizado (seta vermelha). B) parte do carvão encontrado dentro do conduto na cavidade. Fotos: Felipe Carmo.

mantinham uma guerra ininterrupta (Silva, 2005). Entraram por três vezes no Estado mineiro, sendo a primeira incursão pelo Rio Urucuia, quando alcançaram São Romão (agosto/1925); a segunda, vindo do sertão baiano, a partir de Mortugaba, quando tinham em seu encalço o Batalhão Patriótico comandado pelo Coronel Horácio de Matos (abril/1926). Já no final do movimento, um destacamento liderado por Siqueira Campos entrou pela terceira vez em Minas, chegando a Paracatu antes de retornar a Goiás (fevereiro/1927).

A segunda travessia para Minas se deu no dia 19 de abril de 1926, chegando a Santo Antônio do Retiro/MG, em 20 do mesmo mês. Os homens acamparam em Serra Nova, na época distrito de Rio Pardo de Minas, em 21 de abril. No dia seguinte, confrontaram as tropas inimigas na Batalha de Serra Nova, como ficou conhecida, onde os Batalhões Patrióticos engajaram-se em confronto com a retaguarda da Coluna nos arredores do distrito (FGV, 2013; Santiago, 2013).

Os relatos acerca da rota adotada divergem entre as fontes consultadas: as tropas da Coluna poderiam, então, ter-se direcionado para oeste, chegando a Serranópolis de Minas e, depois, seguido a NE na direção de Taiobeiras (Santiago, 2013). Outras fontes indicam um movimento para Sul (FGV, 2013), contornando as elevações do Espinhaço numa passagem mais suave, rumando a norte e chegando a Serranópolis, de onde partiram destacamentos e/ou potreadas para Riacho dos Machados (SW) e Monte Azul (N) (ver Figura 12).

As fontes consultadas concordam que, a partir de Serra Nova, as tropas da Coluna realizaram uma manobra para ludibriar as tropas civis. Essa volta de dezenas de quilômetros, que ficou conhecida como Laço Húngaro, permitiu que a coluna contornasse, saindo em posição de vantagem sobre seus perseguidores. Seguiram para Taiobeiras e, depois, para a Bahia novamente, em 30 de abril de 1926, evitando confronto com as tropas do Rio São Francisco. Supõe-se que, pelo teor e amplitude da manobra, a Coluna possa ter passado pelo vale do Rio Peixe Bravo em alguma etapa do Laço Húngaro, já que se encontra na rota de ambas as possibilidades relatadas.

Considerando os relatos feitos pelos moradores, os apontamentos históricos acerca das trajetórias e artimanhas militares na região e os muros em cavernas de posição elevada em áreas com amplo domínio visual do vale do Peixe Bravo, denota-se a possibilidade de estas estruturas terem composto parapeitos de sistemas defensivos relacionados às batalhas e movimentos na região. As cavernas arqueológicas poderiam, então, compor pontos de apoio da primeira linha e retaguarda, postos de observação ou tiro, entre outras funções de caráter militar. No entanto, essas não são necessariamente resultado de atividades da Coluna. Podem também caracterizar locais utilizados pelas tropas civis durante as investidas. Outras possibilidades para o uso dessas cavidades surgem quando se considera o rebuliço sociopolítico promovido pelo conflito da Coluna com os Coronéis.

A atribuição da categoria “revoltosos” à Coluna evidencia o conflito sociopolítico decorrente de seu avanço e que deixou marcas evidentes na população sertaneja. No sertão baiano essa categoria muitas vezes expõe visões violentas ou deturpadas dos atos ou intenções da Coluna, em prol do discurso governista e coronelista (Carvalho, 2002). Trata-se de um viés etnográfico e antropológico ainda pouco estudado.

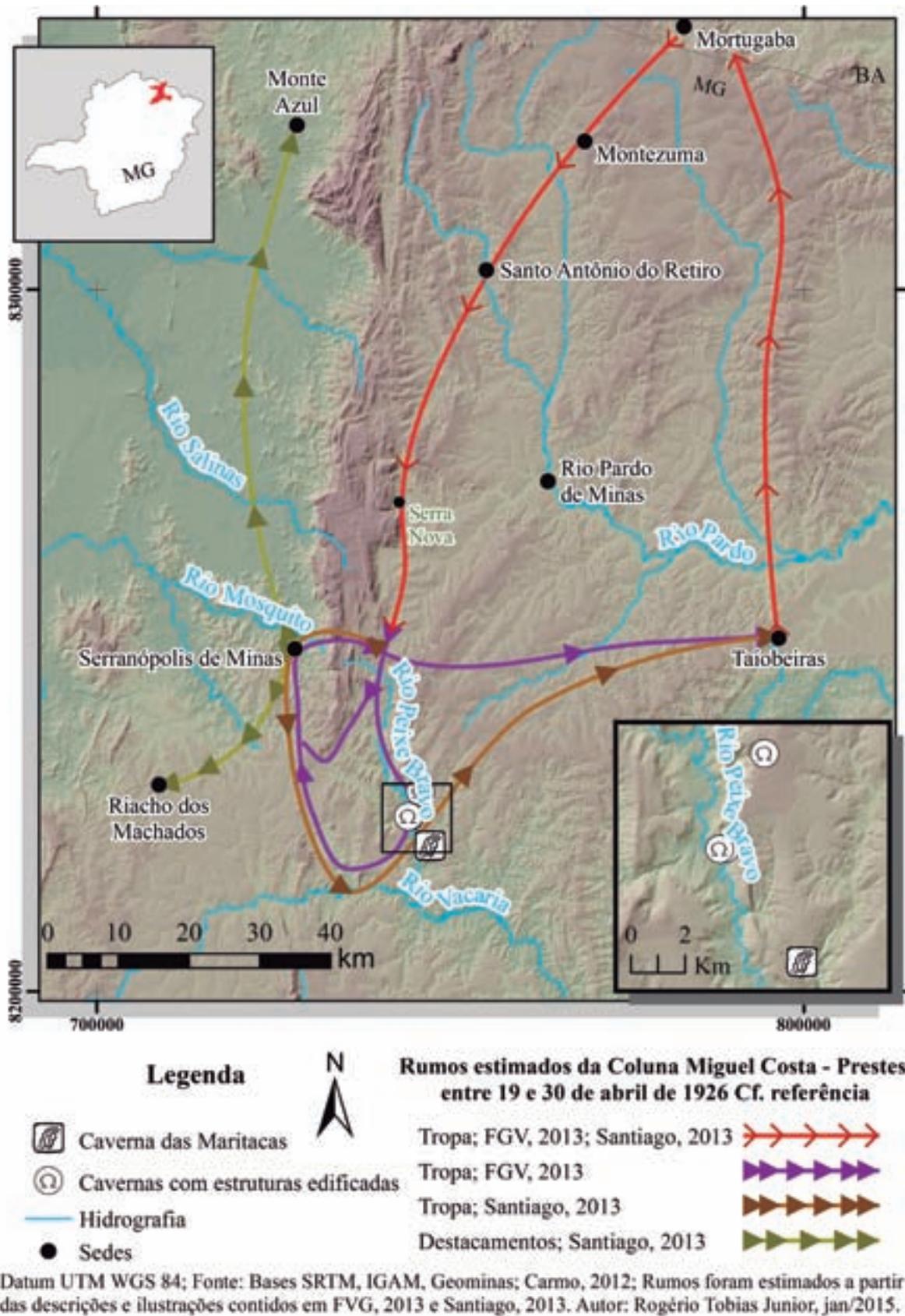


Figura 12 - Sítios arqueológicos e rumos possíveis da Coluna Miguel Costa – Prestes estimados a partir das descrições e ilustrações contidas em FVG (2013). Fontes: bases SRTM (2004), PRODEMGE, (1998). Datum UTM, Zona 23K, WGS 84. Elaboração: Rogério Tobias Júnior.

Os “revoltosos” levaram consigo outros ideais, mas trouxeram com eles a guerra, a morte, e a necessidade de sustentar a marcha. Saques, potreadas e violência geraram pânico em parte da população, enquanto para uma minoria, esses eram necessários à consecução dos objetivos revolucionários. Tal situação instava os populares a apoiarem um lado ou outro, e inspirava pânico suficiente para que muitos deixassem suas casas e buscassem refúgio nas matas. A fuga envolvia a estadia ou permanência em cavernas e abrigos (Santiago 2013).

Se considerarmos as potencialidades ilustradas, deve-se tomar a relevância de toda a região mineira envolvida no conflito, na elucidação histórica da trama político-social e cultural que dele decorreu, e a propagação de ideologias e mentalidades. Deve-se lembrar também que, além de ser opção de uso cotidiano desde o período pré-colonial, as cavernas e abrigos constituíram pontos de fuga da população oprimida ou repelida, cuja história oficial parcamente é capaz de relembrar e cujo cotidiano é desconhecido.

A região do Rio Peixe Bravo, do ponto de vista arqueológico e histórico, carrega diversos potenciais que carecem de urgentes investimentos científicos: contextos rupestres em litologias ferruginosas, ocupações históricas e tradicionais de cavidades ferruginosas, com possível associação ao conflito envolvendo a coluna Miguel Costa – Prestes, seus desertores ou moradores fugidos ou repelidos. A região em foco congrega potencial para conter outros vestígios materiais relativos a cada tipo de ocupação e atividade, e permitir o estabelecimento de uma Arqueologia do Conflito, trazendo à tona vozes de fontes que a historiografia convencional não consegue ouvir.

É imperativo, enfim, realizar novas pesquisas que envolvam contextos arqueológicos subsuperficiais, sua variabilidade material e sua integração com manifestações específicas das populações humanas pré-coloniais e históricas nas áreas ferruginosas do norte mineiro, e também promover formas específicas para sua proteção e divulgação.

Serviços ecossistêmicos

Os mananciais, a regulação climática, a polinização, os estoques pesqueiros, a madeira, as moléculas de origem vegetal e animal que são utilizadas como compostos ativos em medicamentos são exemplos de alguns serviços ecossistêmicos. Constanza *et al.* (1997) estimaram que o valor monetário mundial corrente do capital natural, ou recursos naturais, seria de US\$ 33 trilhões ao ano. Esse montante foi calculado a partir de 17 tipos de serviços ecossistêmicos e representa o valor monetário que a humanidade ‘deveria’ pagar por se apropriar de serviços vitais para sua sobrevivência, bem-estar e meios de subsistência. Em 2011, o valor monetário mundial atingiu US\$ 125 trilhões ao ano (Constanza *et al.*, 2014). Mesmo que somássemos os produtos internos brutos de todos os países, não conseguiríamos pagar por esses serviços prestados.

Entre os principais serviços fornecidos pelos geossistemas ferruginosos estão a recarga e o armazenamento de água (ver capítulo 3 – Hidrogeologia). No Quadrilátero Ferrífero, por exemplo, as reservas exploráveis contidas nos aquíferos associados às formações ferríferas bandadas das

Formações Cauê e Gandarela foram estimadas em $4 \times 10^9 \text{ m}^3$ (Silva *et al.*, 1994 apud IBRAM, 2003), o equivalente a um milhão e seiscentas mil piscinas olímpicas de água de classe especial⁷. Qual seria o valor monetário que deveríamos pagar para manter o fornecimento de um recurso natural vital como a água? As cangas, devido a sua localização nos platôs topográficos, sua porosidade e permeabilidade, funcionam como conexão daqueles aquíferos ferruginosos, constituindo importantes áreas de recarga hídrica (Lazarim, 1999 apud IBRAM, 2003).

Ao longo do vale do Peixe Bravo, dezenas de famílias utilizam diretamente a água originada das formações ferríferas da região, com destaque para o distrito de Nova Aurora, em Rio Pardo de Minas (Fig. 13).

Mas além de “negligenciar” a economia da natureza, estamos contribuindo cada vez mais para sua deterioração, e a conta a ser paga pela perda e degradação de áreas naturais e de seus serviços ecossistêmicos é elevada. Apenas entre 1997 e 2011, essa conta global atingiu cerca de US\$ 20 trilhões ao ano. Destaca-se que a avaliação dos serviços ecológicos (em qualquer unidade) não é o mesmo que uma análise de mercantilização ou privatização, conforme Costanza *et al.* (2014):

Estimativas globais expressas em unidades monetárias são úteis para destacar a magnitude dos serviços ecológicos, mas não têm nenhum contexto específico na tomada de decisão. No entanto, os dados e modelos subjacentes podem ser aplicados em múltiplas escalas para avaliar as mudanças resultantes de vários cenários e políticas. Enfatizamos que a avaliação dos serviços ecológicos (em qualquer unidade) não é o mesmo que uma análise de mercantilização ou privatização. Muitos serviços ecossistêmicos são considerados bens públicos ou recursos comuns; então, os mercados convencionais muitas vezes não são os mais adequados quadros institucionais para gerenciá-los. No entanto, estes serviços ecossistêmicos devem ser (e estão sendo) avaliados, e nós precisamos de novas instituições capazes de valorá-los adequadamente.

Planejamento para a conservação e definição de prioridades

Uma ferramenta reconhecida em todo o mundo como a mais eficaz para a conservação e proteção da biodiversidade, dos serviços ambientais e dos processos ecossistêmicos, está representada pela criação de áreas protegidas (Hockings, 2003; Rodrigues *et al.*, 2004). Para isso, o planejamento sistemático da conservação subsidia a identificação de áreas prioritárias baseada em um banco de dados bióticos e abióticos e em métricas (Tab. 2) como a representatividade, a vulnerabilidade, a complementaridade e a insubstituibilidade (Pressey *et al.*, 1994; Margules & Pressey, 2000; Rodrigues *et al.*, 2004; MMA, 2008; Rapini *et al.*, 2009).

⁷ De acordo com a Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, as águas doces classificadas como Classe especial são destinadas ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.



Figura 13 – A) Nascente em formações ferríferas localizadas em Rio Pardo de Minas. B) Captação de água para abastecimento do distrito de Nova Aurora. Fotos: Flávio do Carmo.

O Vale do Peixe Bravo representa o único geossistema ferruginoso de Minas Gerais que não contém nenhum tipo de unidade de conservação. Ao mesmo tempo, contém milhares de hectares de silvicultura de eucalipto e está sobreposto por dezenas de títulos minerários de ferro, alguns na fase de requerimento de lavra. Outro agente causador de degradação está representado pela instalação de fornos que produzem carvão ilegal a partir de vegetação nativa. De acordo com Vilela (1986), na década de 1980 já existiam cerca de 180 km de estradas de acesso aos locais de sondagem geológica e aos alojamentos. Recentemente, inúmeras novas praças foram abertas, resultando em mais perda de vegetação nativa e de áreas naturais de cangas e das populações de plantas associadas (Fig. 14). Portanto, a vulnerabilidade atual do vale do Peixe Bravo deve ser considerada em políticas públicas ambientais. De acordo com Rapini *et al.* (2009), os locais onde ocorrem as plantas raras

“devem ser percebidos pelos órgãos ambientais como os setores mais frágeis do território brasileiro e que por isso exigem uma atenção maior no que diz respeito ao licenciamento ambiental, dado que um planejamento inadequado poderá levar à perda de espécies únicas do patrimônio biológico brasileiro”.

Tabela 2 – Métricas utilizadas no planejamento sistemático da conservação.

Métrica	Conceito
Indicadores da biodiversidade (<i>surrogates</i>)	unidades ambientais que pressupõem diversidade biológica, por exemplo, certos fenômenos geomorfológicos, bacias hidrográficas ou cadeias de montanhas.
Objetos de conservação	constituintes da biodiversidade (espécies, populações, comunidades, ecossistemas ou <i>habitats</i>) de interesse para a conservação e que ocorrem em áreas geográficas definidas espacialmente.
Complementaridade	inclusão de novas áreas protegidas ao sistema de unidades de conservação com o objetivo de otimizar o número de objetos de conservação.
Vulnerabilidade	medida da probabilidade ou iminência de perda da biodiversidade.
Insubstituibilidade	contribuição potencial de uma determinada área para a representatividade dos objetos de conservação. Indica áreas com altos níveis de endemismos ou espécies raras.

As formações ferríferas são importantes indicadores de biodiversidade, conforme estudos realizados no Brasil e Austrália (ver capítulo 13). O sistema cangas-diamictitos hematíticos do vale do Peixe Bravo constitui-se de áreas insubstituíveis que abrigam objetos com alto valor para a conservação, como as paleotocas e as espécies raras. Os objetos de conservação, quando analisados em conjunto ao patrimônio histórico e arqueológico, ratificam a importância intrínseca, material e imaterial do vale do Peixe Bravo. A criação de unidades de conservação na região contribuiria ainda para a diminuição da probabilidade de perda da biodiversidade e para o planejamento do uso racional dos recursos naturais.

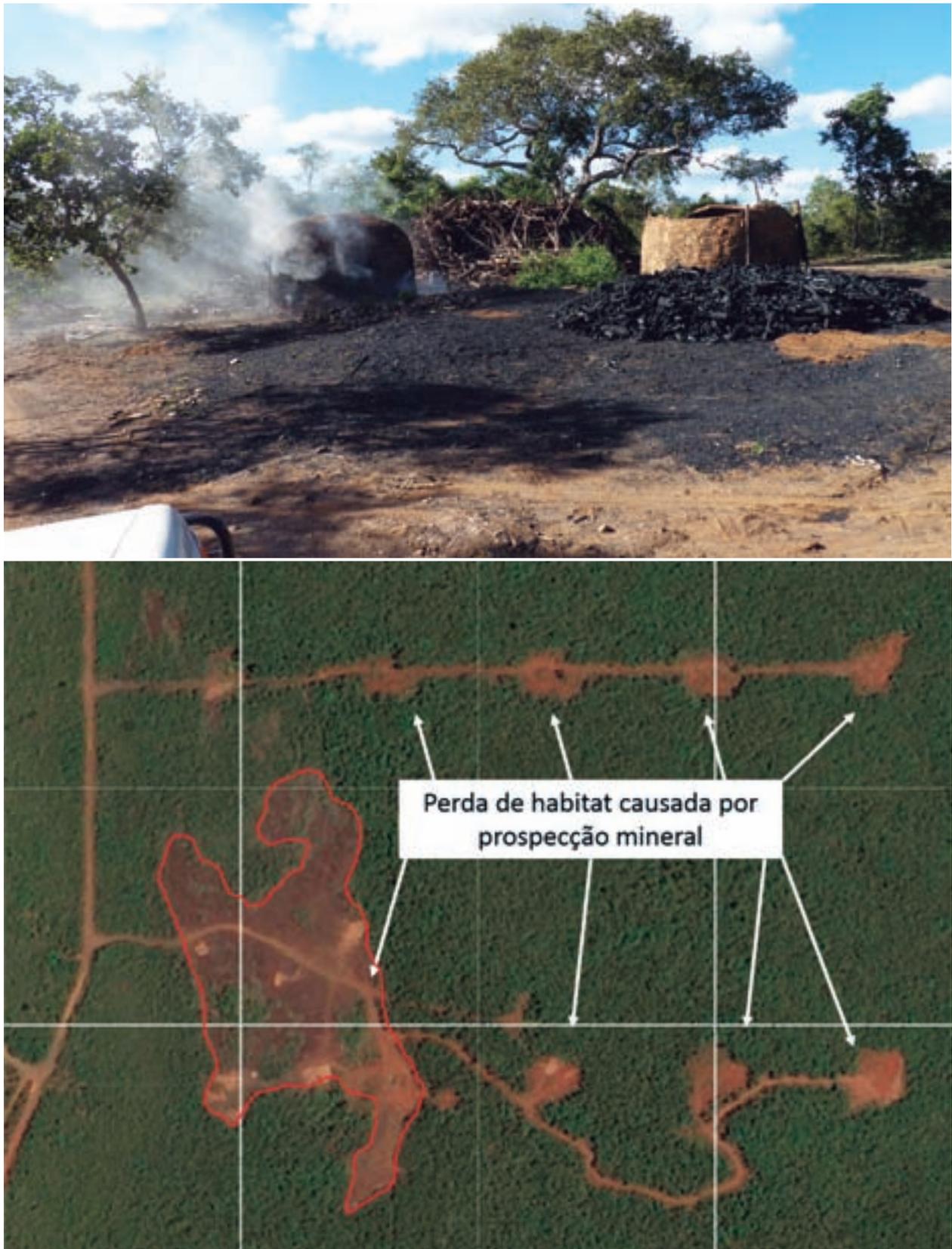


Figura 14 – Perda e degradação de áreas naturais no vale do Peixe Bravo. Acima: corte de vegetação nativa para produção de carvão. Foto: Flávio do Carmo. Abaixo: abertura recente de praças de sondagem impactam áreas de vegetação de Cerrado e a vegetação associada às cangas (destacada em vermelho). Adaptado de DigitalGlobe (C) 2015 GeoEye (C) 2015 Microsoft Corporation – BING.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio institucional do Ministério Público de Minas Gerais, através da Coordenadoria Regional das Promotorias de Justiça do Meio Ambiente das Bacias dos Rios Verde Grande e Rio Pardo e a Polícia Militar Ambiental dos municípios de Taiobeiras e Grão-Mogol pelo imprescindível apoio logístico. Agradecemos a Nilson Ferreira pelas valiosas contribuições de história natural durante os trabalhos de campo, ao Arqueólogo Gustavo Souza, ao Geomorfólogo Frederico Gonçalves e ao Geólogo Ulisses Penha pelo auxílio na avaliação inicial das incisões da caverna das Maritacas.

Referências Bibliográficas

- Carmo, F.F. 2012. *Novo Polo para Conservação em Geossistema Ferruginoso na Região do Rio Peixe Bravo, Norte de Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. 116 p.
- Carmo, F.F.; Salgado, A.A.R. & Jacobi, C.M. 2011a. Novo sítio espeleológico em sistemas ferruginosos, no vale do Rio Peixe Bravo, norte de Minas Gerais, Brasil. *Espeleo-Tema*, 22: 25-39.
- Carmo, F.F.; Buchmann, F.S.C.; Frank, H.T. & Jacobi, C.M. 2011b. Primeiros registros de paleotocas desenvolvidas em formações ferríferas, Minas Gerais, Brasil. 31º Congresso Brasileiro de Espeleologia. Ponta Grossa. Sociedade Brasileira de Espeleologia. *Anais...*
- Carmo, F.F.; Campos, I.C. & Jacobi, C.M. 2012. Cangas: ilhas de ferro estratégicas para a conservação. *Ciência Hoje*, 295: 48-53.
- Carvalho, G.V. 2002. A passagem da Coluna Prestes pela Bahia e a construção da categoria revoltoso. X Encontro Regional de História - ANPUH-RJ. UERJ. Rio de Janeiro. *Anais...*
- COMIG. 1997. "Projeto Espinhaço": conjunto de 23 mapas geológicos, impressos a cores, na escala 1:100.000, elaborados pelo Instituto de Geociências da UFMG em convênio com a SEME/COMIG.
- Costanza, R.; d'Arge, R.; de Groot, R.; Farberk, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; O'Neill, R.V.; Paruelo, J.; Raskin, R.G.; Sutton, P. & van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.
- Costanza, R.; Grootb, R.; Suttonc, P.; van der Ploegb, S.; Andersond, S.J.; Kubiszewskia, I.; Farbere, S. & Turnerf, R.K. 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26: 152-158.
- Fundação Getúlio Vargas. 2013. *Dicionário Histórico-Geográfico Brasileiro*. Disponível em: <http://www.vermelho.org.br/fmg/90-coluna.html>. Acesso em 15 jan. 2015.

Giulietti, A.M.; Rapini, A.; Andrade, M.J.G.; Queiroz, L.P. & Silva, J.M.C. 2009. *Plantas Raras do Brasil*. Belo Horizonte. Conservation International. 496 p.

Guimarães, C.M. & Reis, F.M. 2001. As Lapas do Itacambiraçu: Arqueologia de uma Ocupação no século XX. XI Congresso de Arqueologia Brasileira - A Arqueologia no Novo Milênio. Sociedade de Arqueologia Brasileira. Rio de Janeiro. *Anais...* p. 108.

Harley, R.M. 1995. Introdução. In: B.L. Stannard. *Flora of the Pico das Almas, Chapada Diamantina, Bahia, Brazil*. Royal Botanic Garden. p. 1-78.

Hockings, M. 2003. Systems for assessing the effectiveness of management in protected areas. *Bioscience*, 53(9): 823-831.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. 2013. Malha municipal com a divisão das mesorregiões, das microrregiões, dos municípios e dos setores censitários do Brasil para o ano de 2005. Escala 1:500.000; Base Cartográfica BC 250 - Hidrografia na escala 1:250.000.

Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM. 2003. *Contribuição do IBRAM para o zoneamento ecológico-econômico e o planejamento ambiental de municípios integrantes da APA-SUL RMBH*. 322 p.

Jacobi, C.M., Carmo, F.F. & Campos, I.C. 2015. Iron geosystems: priority areas for conservation in Brazil. In: Tibbet, M. *Mining in Ecologically Sensitive Landscapes*. CSIRO Publishing.

Linke, V. 2008. *Paisagens dos sítios de pintura rupestre da região de Diamantina-MG*. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Geociências.

Malzbender, T.; Gelb, D. & Wolters, H. 2001. *Polynomial Texture Maps*. *Computer Graphics, Proceedings of ACM Siggraph*.

Margules, C.R. & Pressey R.L. 2000. Systematic conservation planning. *Nature*, 405: 243-253.

Meguro, M.; Pirani, J.R.; Giulietti, A.M. & Mello-Silva, R. 1994. Phytophysiology and composition of the vegetation of Serra do Ambrósio, Minas Gerais, Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, 17: 148-166.

Ministério da Integração Nacional/SDR – MIN. 2005. *Relatório Final do Grupo de Trabalho Interministerial para Redelimitação do Semiárido Nordestino e do Polígono das Secas*. Brasília. 33 p.

Ministério do Meio Ambiente – MMA. 2008. Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: *Atualização - Portaria MMA nº9, de 23 de janeiro de 2007*. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Brasília: MMA (Série Biodiversidade, 31). 327 p.

Ministério do Meio Ambiente – MMA. 2014. *Portaria nº 443, de 17 de dezembro de 2014. Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção*. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/2014/p_mma_443_2014_lista_esp%C3%A9cies_amea%C3%A7adas_extin%C3%A7%C3%A3o.pdf. Acesso em 10 fev. 2015.

Miranda, E.E. 2005. *Brasil em Relevô*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em 17 jan. 2015.

- Pirani, J.R.; Mello-Silva, R. & Giuliatti, A.M. 2003. Flora de Grão-Mogol, Minas Gerais, Brasil. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo*, 21: 1-24.
- Pressey, R.L.; Johnson I.R. & Wilson, P.D. 1994. Shades of irreplaceability: Towards a measure of the contribution of sites to a reservation goal. *Biodiversity and Conservation*, 3: 242-262.
- PRODEMGE – Companhia de Tecnologia da Informação do Estado de Minas Gerais 1998. *Projeto Geominas*. Belo Horizonte: PRODEMGE.
- Prous, A. 1996-1997. Histórico das Pesquisas no Alto Médio São Francisco e Problemática Geral. *Arquivos do Museu de História Natural da UFMG*, 17/18: 1-8.
- Rapini, A.; Andrade, M.J.G.; Giuliatti, A.M.; Queiroz, L.P. & Silva, J.M.C. 2009. Introdução. In: Giuliatti, A.M.; Rapini, A.; Andrade, M.J.G.; Queiroz, L.P. & Silva, J.M.C. *Plantas Raras do Brasil*. Belo Horizonte: Conservation International.
- Ribeiro, L. 2006. *Os significados da similaridade e do contraste entre os estilos de arte rupestre – um estudo regional das gravuras e pinturas do alto-médio São Francisco*. São Paulo: MAE/USP.
- Ribeiro, L. & Isnardis, A. 1996-1997. Os Conjuntos Gráficos do Alto – Médio São Francisco (Vale do Peruaçu e Montalvânia) – caracterização e seqüências sucessórias. *Arquivos do Museu de História Natural da UFMG*, 17/18: 243-286.
- Rodrigues, A.S.L.; Akçakaya, H.R.; Andelman, S.J.; Bakarr, M.I.; Boitani, L.; Brooks, T.M.; Chanson, J.S.; Fishpool, L.D.C.; Fonseca, G.A.B.; Gaston, K.J.; Hoffmann, M.; Marquet, P.A.; Pilgrim, J.D.; Pressey, R.L.; Schipper, J.; Sechrest, W.; Stuart, S.N.; Underhill, L.G.; Waller, R.W.; Watts, M.E.J. & Yan, X. 2004. Global gap analysis: priority regions for expanding the global protected-area network. *Bioscience*, 54: 1092-1100.
- Santiago, L.C. 2013. *O Mandonismo Mágico do Sertão: Corpo fechado e violência política nos sertões da Bahia e de Minas Gerais - 1856-1931*. Dissertação de Mestrado. Montes Claros: Unimontes.
- Silva, H. 2005. *A grande marcha – A coluna Prestes*. Porto Alegre: L&PM. 384 p.
- Tobias Junior, R. 2010. *A arte rupestre de Jequitaiá entre práticas gráficas “padronizadas” e suas manifestações locais: Intersecções Estilísticas no Sertão Mineiro*. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas.
- USGS. 2004. Shuttle Radar Topography Mission, 3 Arc Second scene, Filled Finished 2.0, Global Land Cover Facility. Maryland: University of Maryland / College Park.
- Vilela, O.V. 1986. As jazidas de minério de ferro de Porteirinha, Rio Pardo de Minas, Riacho dos Machados e Grão Mogol, norte de Minas Gerais. In: Schobbenhaus, C.; Coelho, C.E.S. *Principais Depósitos Minerários do Brasil: ferro e metais da indústria de aço*, 2. p. 111-120.

GEOSSISTEMAS FERRUGINOSOS E ÁREAS PROTEGIDAS

João Augusto Madeira, Frederico Drumond Martins, Katia Torres Ribeiro & Andrea Siqueira Carvalho

Introdução

É comum a muitas culturas a busca pela preservação de espaços e recursos específicos, com os mais diferentes propósitos e mecanismos, chegando à atual biologia da conservação como área específica da ciência (Franco, 2013). Ainda hoje existem povos que consideram certas terras, certas espécies ou, individualmente, certas árvores, como sagradas; ou que definem áreas e épocas de não uso, para recuperação de populações de espécies de animais e plantas, entre tantas outras práticas. É comum, sobretudo nos países mais urbanizados, a existência de espaços protegidos onde haja mananciais de água, reconhecida como um bem imprescindível, acima de qualquer outra possível riqueza que o mesmo local pudesse, eventualmente, fornecer. A delimitação de espaços legalmente protegidos para a preservação de recursos naturais não é, portanto, uma ideia recente. Há registros de iniciativas análogas em diversas partes do mundo em variados momentos da história (Diamond, 2007). O modelo de unidades de conservação – atualmente um dos tipos de espaço legalmente delimitado e protegido mais aplicado em todo o mundo – inspira-se nos parques nacionais norte-americanos, que se originaram de uma proposta republicana de garantir a todos o direito ao acesso às belezas naturais, inclusive às gerações futuras, detalhe que garantiria a sua perpetuidade. Ao Parque Nacional de Yellowstone, criado em 1872, seguiram-se iniciativas semelhantes nos mais variados países entre o final do século XIX e o início do século XX.

No Brasil, as unidades de conservação (UCs) estão organizadas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC, lei 9.985/2000, regulamentada pelo decreto 4.330/2002), um dos sistemas mais expressivos do mundo em termos de número, área protegida e variedade de ecossistemas protegidos (Mittermeier *et al.*, 2005), que em seu conjunto busca garantir diversos processos ambientais e/ou socioambientais. No SNUC as unidades de conservação se organizam em dois grandes grupos: as de proteção integral e as de uso sustentável; e em diversas categorias dentro desses grupos, que em seu conjunto têm objetivos variados de proteção, como paisagens, porções representativas de ecossistemas, proteção de espécies, de serviços ambientais prestados à população, proteção de modos de vida de baixo impacto de populações tradicionais ou, ainda, o ordenamento do uso e ocupação do solo, e que implicam variados graus de restrições de uso. Mesmo dentro dos grupos, variam bastante as formas de governança e a aceitabilidade, ou não, de

terras privadas em seu interior. Além disso, conforme o zoneamento, mesmo UCs de uso sustentável podem ter áreas com significativas restrições de uso em seu interior.

O estabelecimento de áreas legalmente protegidas é reconhecido mundialmente como a principal estratégia para evitar a perda de biodiversidade e para garantir serviços ambientais imprescindíveis, como o fornecimento de água para cidades e atividades agropecuárias e industriais, polinização, estabilidade climática, manutenção da qualidade do ar em níveis aceitáveis, oportunidades de lazer e recreação etc. No Brasil, a promulgação da lei do SNUC veio regulamentar parte do artigo 225 da Constituição de 1988, além de sinalizar o concreto engajamento do país ante os compromissos assumidos na Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), resultado da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, em 1992, mais conhecida como ECO-92. Daí resultaram compromissos que vêm sendo renovados e revistos (em geral pela assunção de compromissos adicionais) nas Conferências das Partes (COP), realizadas periodicamente.

O Plano Estratégico da Biodiversidade 2011-2020, estabelecido pela Conferência sobre Diversidade Biológica - CDB, por sua vez ratificada pelo Brasil por meio de decreto legislativo de 1994, contém as metas de Aichi, que incluem, por exemplo, o compromisso de que até 2020 pelo menos 17% de áreas terrestres e de águas continentais e 10% de áreas marinhas e costeiras, especialmente áreas de especial importância para biodiversidade e serviços ecossistêmicos, terão sido conservados por meio de sistemas de áreas protegidas geridas de maneira efetiva e equitativa, ecologicamente representativas e satisfatoriamente interligadas, e por outras medidas espaciais de conservação, e integradas em paisagens terrestres e marinhas mais amplas (meta 11), e que no mesmo horizonte de tempo, a extinção de espécies ameaçadas conhecidas terá sido evitada e sua situação de conservação, em especial daquelas sofrendo um maior declínio, terá sido melhorada e mantida (meta 12). O Brasil estabeleceu metas nacionais a partir das globais (resolução Conabio 06, de 3 de setembro de 2013) e reitera o compromisso de conservar 30% da Amazônia, 17% dos demais biomas terrestres e ao menos 10% das áreas marinho-costeiras, embora tal número não se refira necessariamente apenas às UCs inseridas no Sistema Nacional de Unidades de Conservação, o SNUC. A elas se somariam outras áreas protegidas, como terras indígenas, reservas legais e áreas de preservação permanente, desde que se possa demonstrar que tais mecanismos são efetivos. Além das áreas, tem-se na meta 12 global e em sua pactuação nacional o estabelecimento claro da expectativa de, até 2020, ter-se o risco de extinção de espécies ameaçadas significativamente reduzido, tendente a zero, e seu estado de conservação melhorado, especialmente daquelas espécies reconhecidamente em declínio.

O esforço brasileiro de criação de áreas protegidas é expressivo, mas ainda se encontra em fase que pode ser chamada de embrionária, pelo baixo grau de implementação da maioria das UCs (Ibama/WWF Brasil, 2007). Isto é, depois de criadas, muitas das áreas são mantidas sem os necessários instrumentos de gestão determinados pelo SNUC, como regularização fundiária, plano de manejo com zoneamento, equipe de gestão suficiente e conselho consultivo ou deliberativo. Além disso, nosso sistema de UCs tem lacunas problemáticas, como a baixa proteção dos ecossistemas marinhos, do Cerrado, da Caatinga, dos Pampas, das áreas em que se estendem as florestas de baixada da Mata Atlântica, dentre outras.

O histórico de criação de unidades de conservação no Brasil se inicia no final da década de 1930, com a criação, durante o governo Vargas, dos parques nacionais do Itatiaia (1937), Iguazu e Serra dos Órgãos (1939). Seguiu-se o modelo norte-americano, embora ainda sem legislação específica que definisse com clareza do que se tratava. A situação do Brasil de então, com baixíssima densidade demográfica e pouco instrumentado para explorar eficientemente seus recursos naturais, justificaria o fato de terem sido deixadas para depois a regulamentação e a delimitação dos parques criados, cujos decretos não definiam com precisão os objetivos e a abrangência.

Na década de 1940, já no governo Dutra, apenas uma floresta nacional foi criada, categoria então tida mais como unidade de fomento à produção madeireira do que como área protegida. Dutra criou também o Parque Nacional de Paulo Afonso, desconstituído em 1969 para a construção da hidrelétrica de mesmo nome, sem que se saiba exatamente sequer qual era o tamanho daquele parque nacional, que de fato nunca existiu como tal. A história da criação de UCs no Brasil viveu, desde então, alguns momentos de maior intensidade, visíveis nas Figuras 1 e 2. Percebe-se que os parques nacionais (Parnas) tiveram seus principais surtos de criação nas décadas de 1970 e 2000; as florestas nacionais (Flonas) tiveram impulso principalmente nas décadas de 1980 e 2000; as reservas extrativistas (Resex), terceira categoria mais numerosa, foram criadas com mais intensidade também na década de 2000; a década de 1990 deu maior impulso às Áreas de Proteção Ambiental (APAs); reservas biológicas e estações ecológicas nunca estiveram entre as categorias mais criadas, mas as primeiras tiveram impulso significativo na década de 1980, e as últimas nas décadas de 1980 e 2000. Este quadro mostra que há momentos mais favoráveis a uma ou outra categoria, e que há uma década, a atual, que parece ser desfavorável a todas.

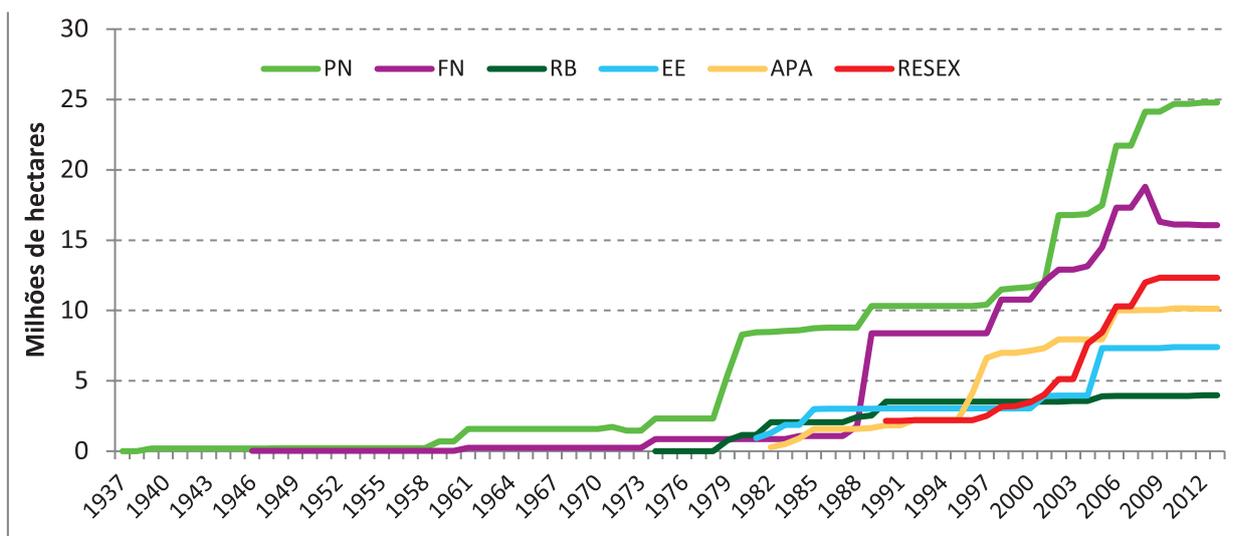


Figura 1 - Evolução ano a ano da área protegida acumulada por categoria de unidades de conservação federais, de 1937 a 2013, em milhões de hectares. Representação das principais categorias de UCs (em milhões de hectares). PN: Parque Nacional; FN: Floresta Nacional; RB: Reserva Biológica; EE: Estação Ecológica; APA: Área de Proteção Ambiental; RESEX: Reserva Extrativista. Fonte – Decretos (ou outro instrumento) de criação, disponíveis na página do ICMBio (www.icmbio.gov.br). Esta figura não inclui unidades criadas em 2014, após o fechamento deste texto.

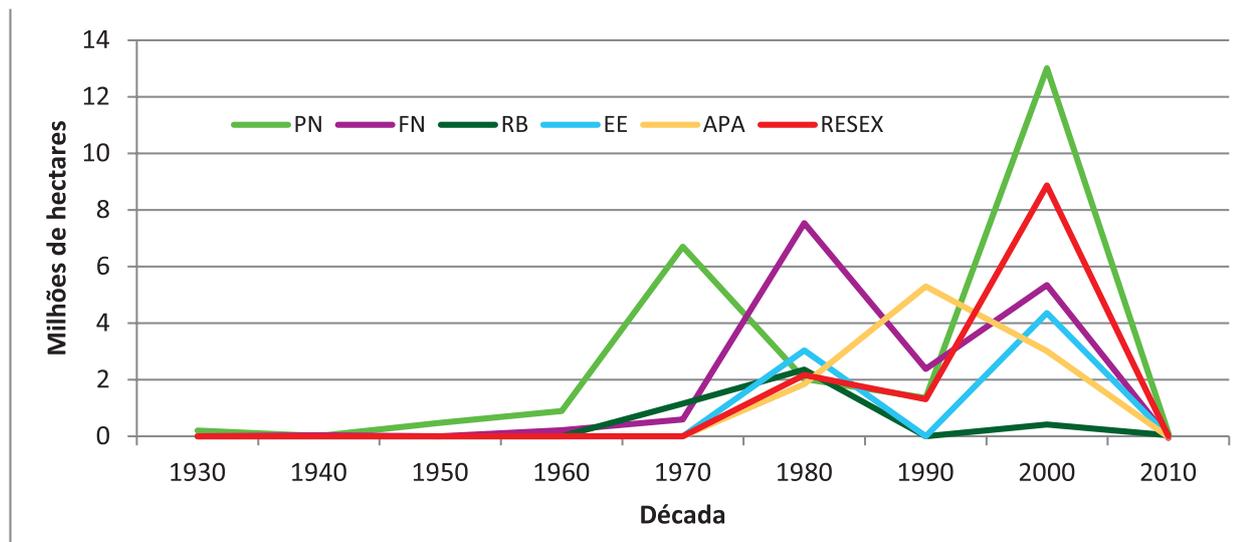


Figura 2 - Área total por década (em milhões de hectares) transformada em unidades de conservação federais das categorias mais numerosas, de 1937 a 2013, em milhões de hectares. PN: Parque Nacional; FN: Floresta Nacional; RB: Reserva Biológica; EE: Estação Ecológica; APA: Área de Proteção Ambiental; RESEX: Reserva Extrativista. Fonte – Decretos (ou outro instrumento) de criação, disponíveis na página do ICMBio (www.icmbio.gov.br). Esta figura não inclui unidades criadas em 2014, após o fechamento deste texto.

O que haveria de comum entre a maioria das unidades de conservação hoje existentes? Ao longo destes mais de 70 anos, a forma de criá-las foi-se adequando às mudanças na realidade. Se, no início, sequer era necessário delimitar precisamente a unidade, hoje não só a delimitação deve ser clara, como é fundamental a negociação, de antemão, com os mais variados setores, através das consultas públicas obrigatórias e de reuniões menores com autoridades estaduais e locais, lideranças comunitárias, setor produtivo etc. As restrições de uso que a existência de uma UC impõe tornam muito difícil a sua criação em locais onde haja fortes interesses econômicos. Assim, a maioria das UCs e a totalidade das UCs que não suscitam conflitos se localizam em áreas caracterizadas como de difícil acesso, solos pobres, ausência de recursos minerais, falta de potencial hidrelétrico, entre outros interesses de menor destaque. O Brasil já teve dois parques nacionais desconstituídos em sua totalidade nas décadas de 1960 e 1970 (Paulo Afonso e Sete Quedas) para dar lugar a mega-hidrelétricas. Hoje, porém, a legislação ambiental torna mais difícil que essa situação se repita. No entanto, várias UCs foram reduzidas em 2012, para permitir a exploração do potencial hidrelétrico de rios amazônicos. A inevitável coincidência entre a existência de cangas e de minério de ferro certamente explica por que é quase nula a proteção dada por unidades de conservação à biota associada aos geossistemas ferruginosos. Apesar disso, alto endemismo e singularidade dos processos ecológicos e evolutivos, bem descritos neste livro, tornam este geossistema um clássico “alvo de conservação”, que cumpre todos os requisitos para ser considerado altamente prioritário.

A Figura 3 mostra o panorama da proteção (ou falta dela) às áreas de ocorrência do geossistema ferruginoso, do qual as cangas são uma parte ainda não quantificada com precisão para o conjunto completo. Sabe-se que no Quadrilátero Ferrífero/Aquífero, região mais estudada,

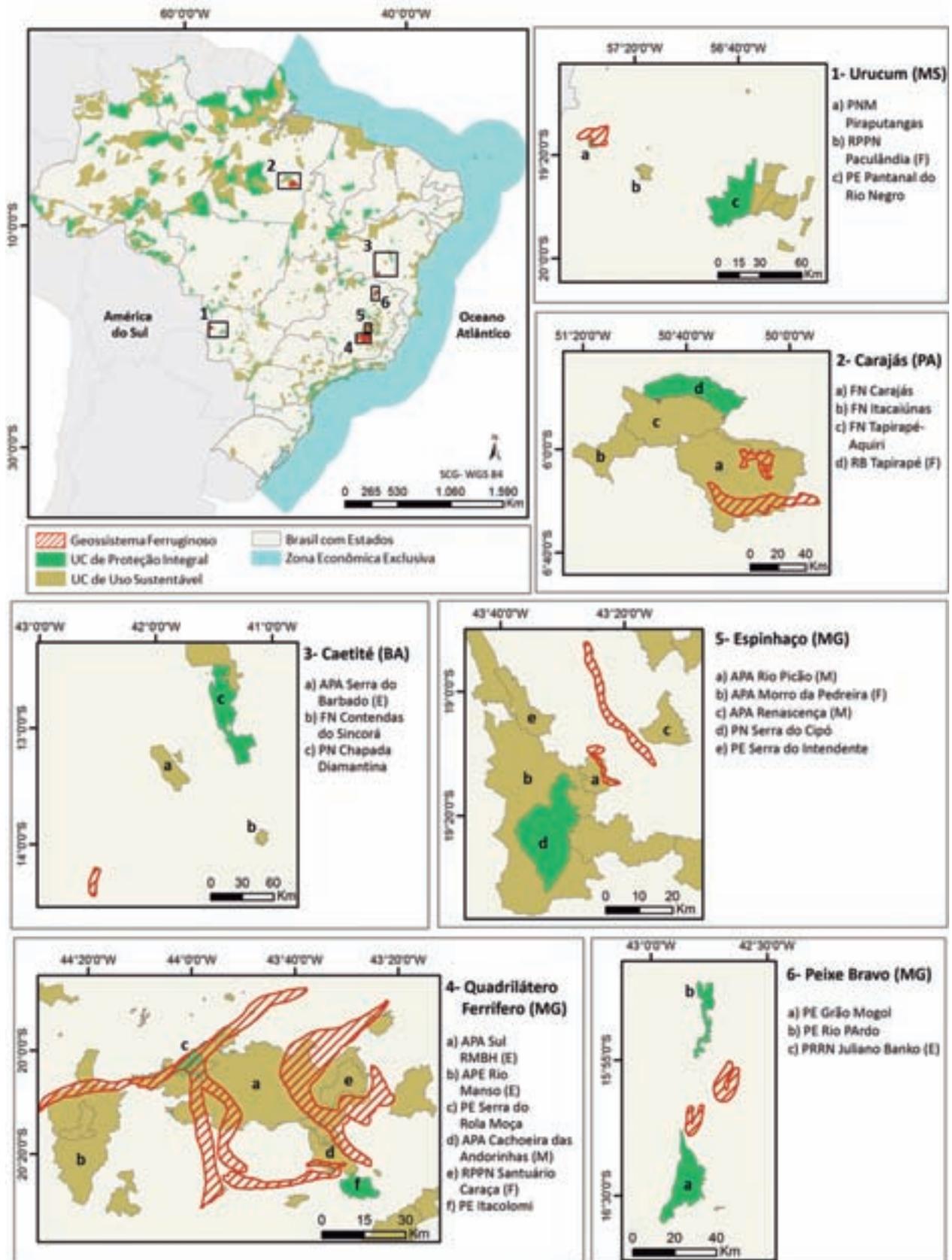


Figura 3 - Conjunto de unidades de conservação das três esferas (federal [F], estadual [E] e municipal [M]) no Brasil e localização das áreas conhecidas do geossistema ferruginoso, do qual as cangas são uma parte, em geral, em torno de ou menor que 10%.

as cangas ocupam cerca de 10.200 ha, que correspondem a cerca de 6,5% da área do geossistema. Em Carajás, de onde já há também volume razoável de dados, estima-se em cerca de 10.300 ha a área de cangas, o que corresponde a aproximadamente 11,5% da área do geossistema (Tabela 1).

Neste contexto, os geossistemas ferruginosos apenas aparentam estar razoavelmente bem protegidos por unidades de conservação (Figura 3). Dos seis principais locais de ocorrência deste geossistema (três em Minas Gerais, um na Bahia, um no Pará e um no Mato Grosso do Sul), três estão inteiramente desprotegidos por unidades de conservação – Peixe Bravo (MG), Caetité (BA) e Urucum (MS). Os outros três estão parcialmente inseridos em UC: o Quadrilátero Ferrífero, rebatizado de Quadrilátero Aquífero (MG), tem uma pequena porção inserida em UC de proteção integral (Parque Estadual da Serra do Rola Moça) e parte significativa na Área de Proteção Ambiental (APA) Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte; o geossistema do Espinhaço (MG) está parcialmente inserido na APA municipal do Rio Picão (Morro do Pilar) e o geossistema Carajás (PA) está em sua maior parte inserido na Floresta Nacional de Carajás. Estas categorias de UC (exceção feita ao Parque Estadual da Serra do Rola Moça, pouco efetivo apenas por ser pequeno) e seus instrumentos de criação e gestão, pela forma como foram redigidos, não garantem proteção suficiente aos respectivos geossistemas ferruginosos, como será melhor discutido abaixo.

Entre os mecanismos de proteção adicionais ao SNUC, muitos se relacionam diretamente com os processos de licenciamento ambiental. Destacamos a obrigatoriedade da proteção de espécies, isto é, empreendimentos não podem levar espécies à extinção, o que lança especial

Tabela 1 - Áreas conhecidas de geossistema ferruginoso (GF); área conhecida ou estimada de cangas presentes em cada um destes geossistemas; área de cada um destes geossistemas protegida em unidades de conservação (UC) de uso sustentável (US) e de proteção integral (PI); porcentagem de cada geossistema ferruginoso protegida em unidades de conservação (UC) de qualquer categoria e porcentagem da área de canga estimada protegida em unidade de conservação (UC) de proteção integral (PI).

Nome da área	Áreas de GF (ha)	Área de cangas (ha)	Área de GF Protegida em UC US (ha)	Área de GF Protegida em UC PI (ha)	Área de GF protegida total (ha)	GF protegido em UC (%)	Canga protegida em UC PI (%)
Quadrilátero/ MG	158.022,38	10.200,00	66.634,28	4.689,45	71323,73	45,14	1,96
Espinhaço/ MG	10.068,61	*906,17	918,62	0,00	918,62	9,12	0,00
Peixe Bravo/ MG	20.450,16	*1.840,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caetité/ BA	15.257,48	*1.373,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Carajás/ PA	89.657,75	**10.298,73	76.092,81	0,00	76.092,81	84,87	0,00
Urucum/ MS	17.181,44	*1.546,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	310.637,82	26.164,91	143.645,71	4.689,45	148.335,16	47,75	0,76

* Nos geossistemas ferruginosos mais bem estudados (Quadrilátero e Carajás), a porcentagem correspondente a cangas é, respectivamente, de 6,5% e 11,5%; utilizou-se a média aritmética entre estes dois valores (9%) como estimativa das áreas de canga presentes nos demais geossistemas.

** A área de cangas atribuída ao geossistema Carajás é de 2,5% da área da Floresta Nacional, já que os dados existentes (ver texto abaixo) consideram que as cangas correspondem a “2 a 3% da área da Floresta Nacional”.

atenção às espécies de distribuição espacialmente restrita (endêmicas) e espécies ameaçadas em geral. É o caso também de recursos disputados, como qualidade do ar, custo da terra, beleza cênica e, cada vez mais, a disputa pela água em quantidade, regularidade e qualidade, o que aponta para a necessidade de efetiva implementação da legislação de proteção a mananciais e da legislação de proteção às cavernas, que teriam implicações diretas na proteção dos geossistemas ferruginosos.

Trazemos aqui uma discussão sobre a necessidade de fortalecer os mecanismos vigentes de proteção aos geossistemas ferruginosos, com base, principalmente, no detalhamento dos casos de Carajás e do Quadrilátero Ferrífero/Aquífero.

O Caso Carajás

Na Amazônia, os campos sobre as cangas constituem enclaves isolados em meio à floresta, testemunhos de uma cobertura vegetal arcaica. Seu isolamento decorreu das alterações climáticas ocorridas na transição do Pleistoceno para o Holoceno, quando terminou a última glaciação há cerca de 10.000 anos a.C. (Ab' Saber 1986). Um dos tipos mais raros desta fitofisionomia é aquele associado a afloramentos rochosos hematíticos (minério de ferro), conhecido por diversos nomes, entre os quais, campos ferruginosos, vegetação de canga ou savanas metalófilas (Rizzini, 1977; Secco & Mesquita, 1983; Secco & Lobo, 1988; Porto & Silva, 1989; Morelato & Rosa, 1991; Silva, 1991; Silva *et al.* 1996; Vincent *et al.* 2004). Na Floresta Nacional de Carajás (Flona Carajás), no sudeste do Estado do Pará, encontram-se as principais áreas de vegetação de canga da região amazônica. Trata-se de um ecossistema singular, reconhecido pela alta taxa de endemismo da flora e elevada densidade de cavidades naturais subterrâneas, ocupando os platôs que marcam os divisores de águas de toda a UC (Campos & Castilho, 2012).

A jazida de minério de ferro da Serra dos Carajás foi descoberta em 1967 pela empresa United States Steel. Esta empresa conseguiu formalizar, em 1970, um acordo com o governo brasileiro, dando origem à empresa AMZA (Amazônia Mineração S.A.), onde 51% do capital acionário ficaram em poder da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), ainda estatal, e 49% com a US Steel. Em 1980, o governo brasileiro criou o “Projeto Grande Carajás” – PGC, até então o maior projeto de “desenvolvimento integrado” em uma área de floresta tropical úmida no mundo. Este projeto criou, além de incentivos fiscais e financeiros, a infraestrutura necessária para dar suporte à ampliação da exploração dos diversos minerais encontrados na região.

A região de Carajás abriga hoje cinco unidades de conservação, cuja criação esteve intimamente relacionada à história recente da mineração. Tais unidades parecem ter sido criadas para a proteção das jazidas minerais que não eram, e ainda não são, totalmente conhecidas. Isto explicaria, entre outras coisas, a localização de uma reserva biológica no entorno de duas florestas nacionais (Figura 4), quando a situação usual para a proteção da biodiversidade é o estabelecimento de UCs de uso sustentável no entorno de UCs de proteção integral, formando um cinturão de proteção.

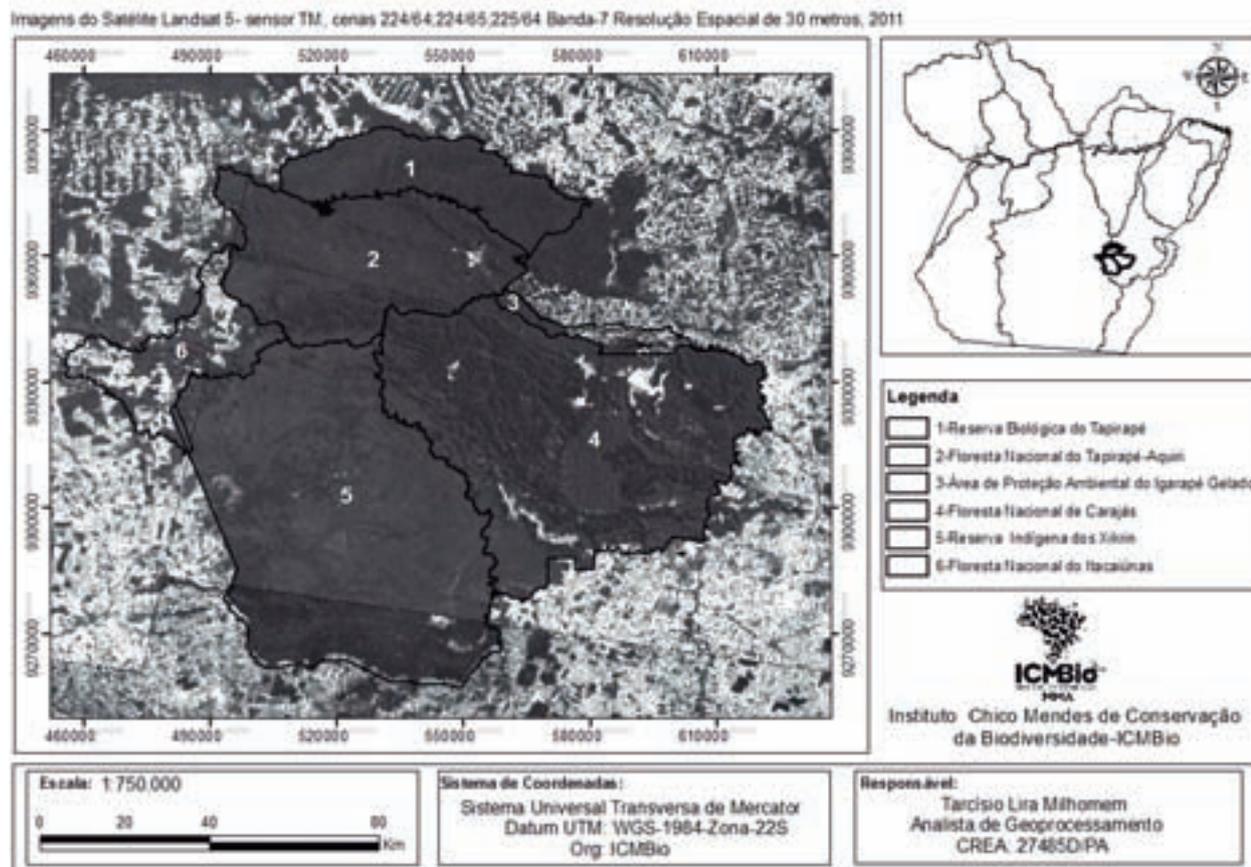


Figura 4 - Mosaico de áreas protegidas de Carajás - conjunto de cinco unidades de conservação e uma terra indígena: uma Área de Proteção Ambiental (APA do Igarapé Gelado, 21.600 ha), uma Reserva Biológica (Rebio do Tapirapé, 103.000 ha), uma Terra Indígena (TI- Xikrin do Cateté, 439.000 ha) e três Florestas Nacionais: (Flona Itacaiúnas, 141.400 ha; Flona Tapirapé-Aquiri, 190.000 ha; e Flona Carajás, 411.949 ha). Juntas, constituem um contínuo de cerca de 1.207.000 hectares de áreas protegidas (existem cerca de 100 mil hectares sobrepostos entre as Florestas Nacionais do Itacaiúnas e do Tapirapé-Aquiri). O mosaico de Carajás está classificado como “área de prioridade extremamente alta” para a conservação da biodiversidade brasileira (MMA, 2008).

Para Santos (2010), as unidades de conservação de Carajás foram concebidas com o objetivo de criar uma área “escudo” de proteção aos projetos de mineração, evitando assim a ocupação humana indesejada. Outra motivação, segundo o mesmo autor, seria a exigência, por parte de agências multilaterais de fomento, como o BIRD e o G7, responsáveis pelo financiamento do PGC, de mitigação e compensação de impactos ambientais e sociais de projetos apoiados por estes organismos, principalmente após a Conferência de Estocolmo, em 1972.

A responsabilização da mineradora pela proteção e manutenção das UCs já nos seus decretos de criação reforça este entendimento. Para ilustrar, citamos trechos destes decretos, publicados em sequência e no mesmo dia:

DECRETO Nº 97.718, de 05 de maio de 1989: Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado, no Estado do Pará

Art. 4.º A APA do Igarapé Gelado será implantada, supervisionada, administrada e fiscalizada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, que, para tanto, contará com o apoio integral da Companhia Vale do Rio Doce...

DECRETO Nº 97.719, de 05 de maio de 1989: Cria a Reserva Biológica do Tapirapé

Art. 5º Para a implantação e proteção da Reserva Biológica do Tapirapé, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, contará com o apoio integral da Companhia Vale do Rio Doce...

DECRETO Nº 97.720, de 05 de maio de 1989: Cria a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri

Art. 4º O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, quando da implantação e proteção da Floresta Nacional de Tapirapé-Aquiri, contará com o apoio integral da Companhia Vale do Rio Doce...

A ideia de proteger jazidas minerais com a criação de UCs provavelmente decorre da experiência anterior da Companhia Vale do Rio Doce em Minas Gerais, onde o avanço da mineração foi e ainda é dificultado pela consolidação e avanço de aglomerados humanos sobre áreas com subsolo rico em jazidas minerais, não prospectadas ou ainda mal conhecidas. Na região de Carajás, na mesma época, tinha-se ainda a situação de Serra Pelada, onde havia uma “corrida do ouro” desencadeada em 1980, em que algo em torno de 80 mil homens afluíram a uma única cava a céu aberto, um terrível “formigueiro humano” (Veiga e Hinton, 2002). As UCs seriam, assim, uma forma de impedir ocupações humanas sobre as principais singularidades geológicas, deixando o caminho aberto para um empreendimento mineral em longo prazo, com a minimização dos conflitos imediatos com comunidades estabelecidas ou mesmo com um avanço descontrolado e imprevisível do garimpo. A certeza deste “caminho livre” ficou maior, claro, com o apoio da mineradora à implementação destas UCs, muito superior à média das demais UCs da região amazônica, sem o que não haveria garantia de ausência de invasões, como se verifica em várias UCs deste bioma que não possuem equipe gestora suficiente ou onde faltam recursos para a gestão.

O potencial mineral já prospectado nesta região inclui jazidas de cobre, ouro e manganês. Mas o que se destaca são as grandes jazidas de minério de ferro de alto teor, estimadas em cerca de 18 bilhões de toneladas, com 65,4% de teor médio (<http://www.mining-technology.com/projects/carajas/>), todas associadas aos geossistemas abordados nesse livro.

A criação da Flona Carajás ocorre em um momento tumultuado do cenário político nacional, quando houve importantes manifestações contra a privatização da CVRD. A primeira estratégia do governo foi decretar uma concessão de direito real de uso, para todo o território onde hoje se localiza a Flona Carajás, para a então CVRD. A oposição, contudo, questionou a concessão no Supremo Tribunal Federal, conseguindo sua cassação em caráter liminar. Foi, então, decretada a criação da Flona Carajás que, diferentemente de outras florestas nacionais, onde o principal objetivo é a exploração sustentável de produtos florestais, traz no texto do decreto de

criação a garantia das atividades de mineração da CVRD, estabelecidas claramente como um dos objetivos da UC:

DECRETO Nº 2.486, de 02 de fevereiro de 1998: Cria a Floresta Nacional de Carajás, no Estado do Pará

Art. 3º As atividades de pesquisa e lavra mineral realizadas pela Companhia Vale do Rio Doce - CVRD e suas empresas coligadas e controladas, na Floresta Nacional de Carajás, devidamente registradas no Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM até a data da publicação deste Decreto, bem como a infraestrutura existente, deverão ser integralmente consideradas no plano de manejo, sem que venham a sofrer qualquer solução de continuidade, observadas as disposições legais pertinentes.

Art. 5º - Para atingir os objetivos estabelecidos no art. 2º, fica o IBAMA autorizado a celebrar convênios visando à maior proteção e ao manejo sustentável dos recursos naturais da Floresta Nacional de Carajás.

Portanto, a criação da Flona Carajás (1998), após a privatização da CVRD em 1997, repetiu a estratégia já adotada em 1989, quando foram criadas três unidades de conservação para proteger as jazidas minerais da região de Carajás (Flona Tapirapé-Aquiuri, APA do Igarapé Gelado e Rebio Tapirapé). Esta estratégia se consolida no plano de manejo da UC (documento de 2003), onde as savanas metalófilas, ou vegetação sobre cangas, estão inseridas em “zonas de mineração”.

Fica clara a estratégia de, por um lado, usar o principal instrumento da política de conservação da biodiversidade (unidades de conservação) para proporcionar e assegurar a exploração mineral em longo prazo, e por outro lado utilizar a abundância de recursos da mineração para financiar a implementação destas unidades de conservação. Se, por um lado, na convivência com a mineração, a proteção da floresta inserida nas unidades de conservação é inegável neste grande mosaico, perante as imensas transformações no uso da terra e dinâmica social no sudeste do Pará, por outro lado, existe um impacto direta e extensamente dirigido às áreas de canga e de recarga de aquíferos, que precisa ser compreendido e avaliado à luz dos compromissos nacionais e internacionais de conservação da biodiversidade. Ou seja, para que se possa considerar este esquema bem sucedido, é necessário que ambos (exploração mineral lucrativa e conservação da biodiversidade efetiva) funcionem a contento. A busca, portanto, é a da compatibilização entre duas atividades antagônicas: a mineração e a conservação. Seria proposta potencialmente muito melhor do que a que verificamos ter ocorrido no Quadrilátero Ferrífero/Aquífero, onde a mineração jamais fez concessões significativas à conservação dos ecossistemas que ocorrem sobre jazidas de ferro. Contudo, como bem ilustra a figura 5, esta compatibilização, para os ecossistemas ferruginosos, é de extrema complexidade, e o debate tem-se aquecido com o aumento do “cacife” dos argumentos conservacionistas dentro desta discussão pela incorporação dos serviços ambientais ao lado da biodiversidade específica das cangas.

Florestas de composição e estrutura variada recobrem mais de 95% da Flona Carajás, e do restante, cerca de 2 a 3% são formados por savana metalófila (Ibama, 2003), ou vegetação sobre

canga. Ou seja, segundo os levantamentos do plano de manejo da UC, dos seus 400 mil hectares, os campos rupestres ferruginosos ocorrem apenas em uma porção menor que 12 mil hectares, sendo que grande parte desta área (cerca de 30%) já está interferida pela mineração ou em processo de licenciamento, restando cerca de 8 mil hectares ainda íntegros. Portanto, se não forem cumpridas as duas partes da estratégia referida acima, o avanço indiscriminado da mineração comprometerá a integridade da savana metalófila e do geossistema ao qual ela está associada, causando a extinção de todo um ecossistema no interior de uma unidade de conservação. Ninguém ignora que este ecossistema contém inúmeras espécies endêmicas, cavernas singulares e importante participação na recarga dos aquíferos:

“... os estudos científicos revelaram que as serranias de Carajás têm função importante para os recursos hídricos, onde se encontram alojados os principais aquíferos regionais e, conseqüentemente, a origem das principais vazões que regularizam o comportamento hidrológico dos trechos a jusante da Serra dos Carajás” (Campos e Castilho, 2012).

Tal situação precisa ser evitada, uma vez que contraria a própria legislação que rege o licenciamento ambiental (Lei 6.938 de 1981) e afronta diretamente a lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC, Lei 9.985 de 2000) em vários artigos, e em especial neste:

Art. 5º O SNUC será regido por diretrizes que:

I - assegurem que no conjunto das unidades de conservação estejam representadas amostras significativas e ecologicamente viáveis das diferentes populações, *habitats* e ecossistemas do território nacional e das águas jurisdicionais, salvaguardando o patrimônio biológico existente;

Os geoambientes ferruginosos da região de Carajás (Figura 6) se caracterizam por conter um ecossistema absolutamente singular, dado o seu isolamento geográfico natural e suas condições específicas. Portanto, com a promulgação do SNUC estabelece-se um novo paradigma que influencia diretamente a gestão e o manejo desta UC, com a possibilidade, e mesmo a obrigação, de garantir um testemunho ecologicamente viável deste ecossistema com todos os seus atributos e espécies endêmicas.

Observa-se crescente reconhecimento da importância das comunidades bióticas associadas aos geossistemas ferruginosos para a conservação da biodiversidade brasileira, incluindo seus processos evolutivos (vários capítulos neste livro). Além disso, a associação entre aquíferos, geossistemas ferruginosos e segurança hídrica é evidente, assim como é inegável a irreversibilidade dos danos relacionados à mineração.

Em uma unidade de conservação tem-se um território que deve ser pensado em conjunto, e não de forma fragmentada, característica atual da maioria dos estudos de impacto ambiental (Trajano, 2010). Quando uma mesma empresa detém todos os direitos minerários desta unidade, ocorre a dupla possibilidade (uma única empresa, um único órgão gestor do território) de realizar estudos e avaliações em escala regional, que avaliem tanto as oportunidades de conservação,

quanto as oportunidades de mineração, buscando um melhor desenho. Com uma visão que favorecia o planejamento integrado de conservação e o aproveitamento econômico, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), em 2003, inseriu como condicionante da Licença de Operação N° 267/2002 (07/2004) um estudo que apontasse as áreas de canga a serem preservadas, o que foi chamado à época de “Projeto Área Mínima de Canga”. O empreendedor deveria apresentar, em seis meses, projeto de estudos ecológicos da canga (tamanho mínimo) e, seis meses após a conclusão dos estudos, mapas propondo áreas de canga para conservação. Vários levantamentos têm sido realizados desde então, vinculados a empreendimentos específicos ou mais gerais, com acúmulo de base significativa de dados (relatório de Análise de Similaridade das Paisagens de Savana Metalófila do projeto Área Mínima de Canga, Carajás – PA, maio de 2009).

Em 2013, quando do licenciamento do Projeto de mineração S11D (implantação de mina de minério de ferro no interior da Flona Carajás em área de savana metalófila conhecida como Serra Sul, corpo mineral S11D), foi inserida como condicionante a realização do estudo “Estratégia para Conservação da Savana Metalófila da Floresta Nacional de Carajás”, que ficou sob a responsabilidade do ICMBio, com base nos dados existentes, a serem integralmente disponibilizados pelo empreendedor. Este estudo está em curso e espera-se chegar a uma análise que subsidie um desenho que resulte em conservação efetiva de uma amostra representativa das cangas de Carajás, em composição e funcionalidades.

Quanto mais se permite a exploração minerária de novas áreas (vide figura 7, com a projeção para 2050 apresentada pela Vale ao ICMBio) sem que o quinhão a ser destinado à conservação esteja definido, mais nos aproximamos da lamentável situação do Quadrilátero Ferrífero/Aquífero: passa-se a negociar a “compatibilização” entre exploração e conservação dentro da parcela mínima que restou ainda não destruída por décadas desta intervenção radical, em um “jogo das eternas metades”, em que a biodiversidade e os serviços ambientais já perdidos não são considerados nas novas análises do licenciamento.

Além de contrariar o SNUC, a extinção de um ecossistema pela mineração no interior de uma área protegida (mesmo tratando-se de uma Flona, que permite a exploração mineral) representará a perda de uma oportunidade de planejamento sistêmico. Para a continuidade da atividade de mineração em áreas de canga, sem a definição das áreas a serem preservadas, usa-se com frequência o argumento de que as jazidas não são inteiramente conhecidas, então não se poderia conhecer o custo de conservação, ou fixar áreas livres de mineração. A área ambiental, desprovida do peso econômico e político do setor mineral, busca fazer valer o argumento de que então não se poderia liberar a mineração sem a identificação de porções-chave para a conservação da biodiversidade e dos serviços, em debate com a sociedade. A tentativa de demonstrar que a conservação seria privilegiada no arranjo, porque 95% da UC são de florestas que seriam preservadas, esconde o fato de que a totalidade da biota sobre cangas pode vir a ser devastada. As figuras a seguir mostram a perspectiva de avanço da mineração de acordo com o planejamento de lavra de longo prazo apresentado pela VALE ao ICMBio em 2012 (Figuras 5, 6 e 7), uma foto do avanço da mineração sobre a canga (Figura 8) e uma foto de uma área de canga ainda íntegra (Figura 9), para evidenciar o conflito.

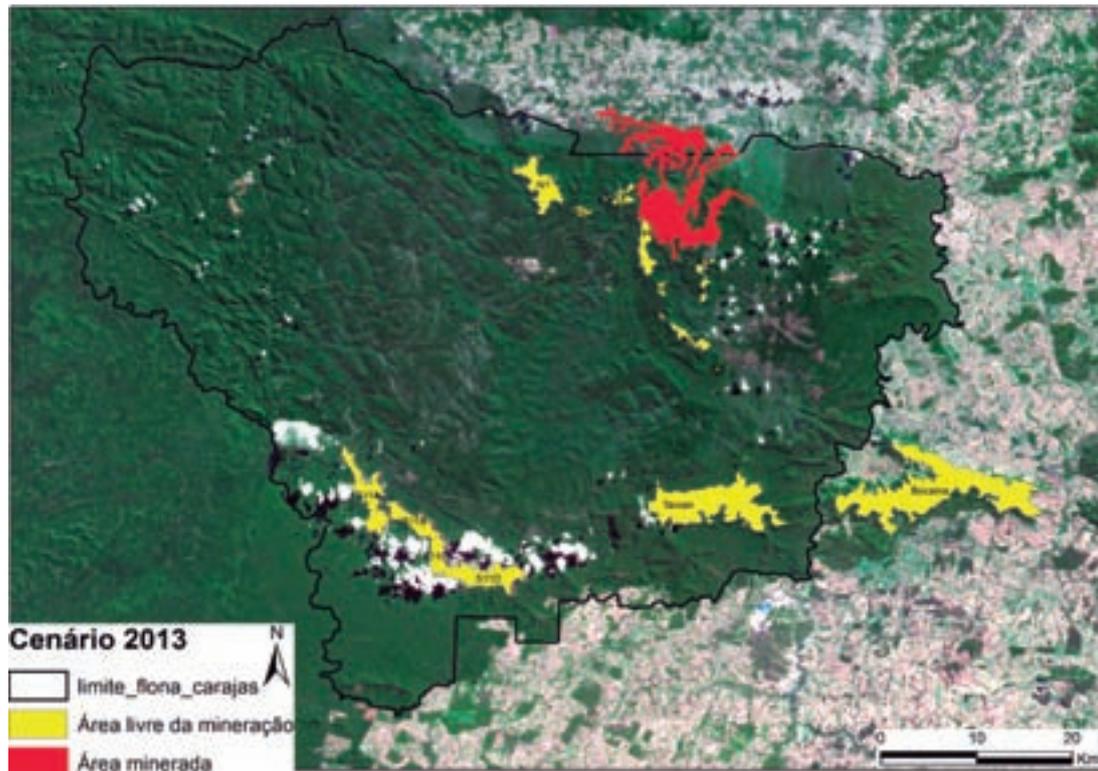


Figura 5 - Corpos de canga com a respectiva nomenclatura: em amarelo os íntegros, e em vermelho as áreas licenciadas para exploração do minério de ferro até 2013. Fonte: Arquivo ICMBio.

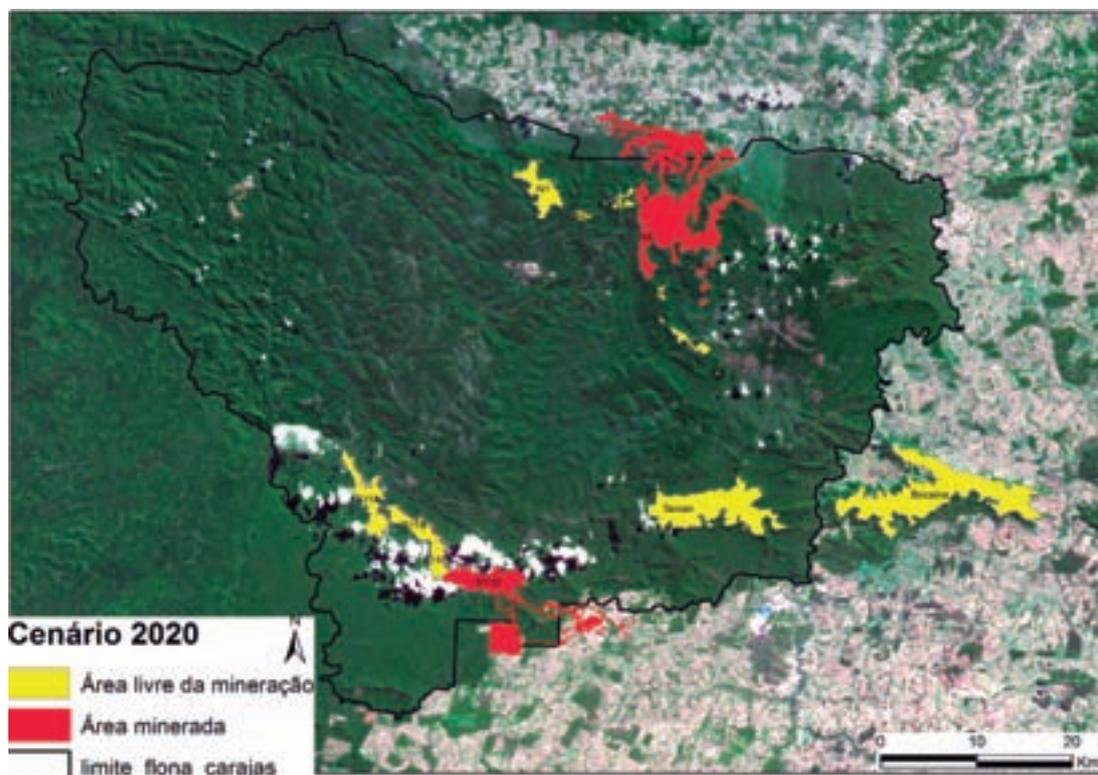


Figura 6 - Corpos de canga da Floresta Nacional de Carajás com a respectiva nomenclatura: Em amarelo os íntegros, e em vermelho os minerados. Cenário projetado pela VALE para 2020. Fonte: Arquivo ICMBio.

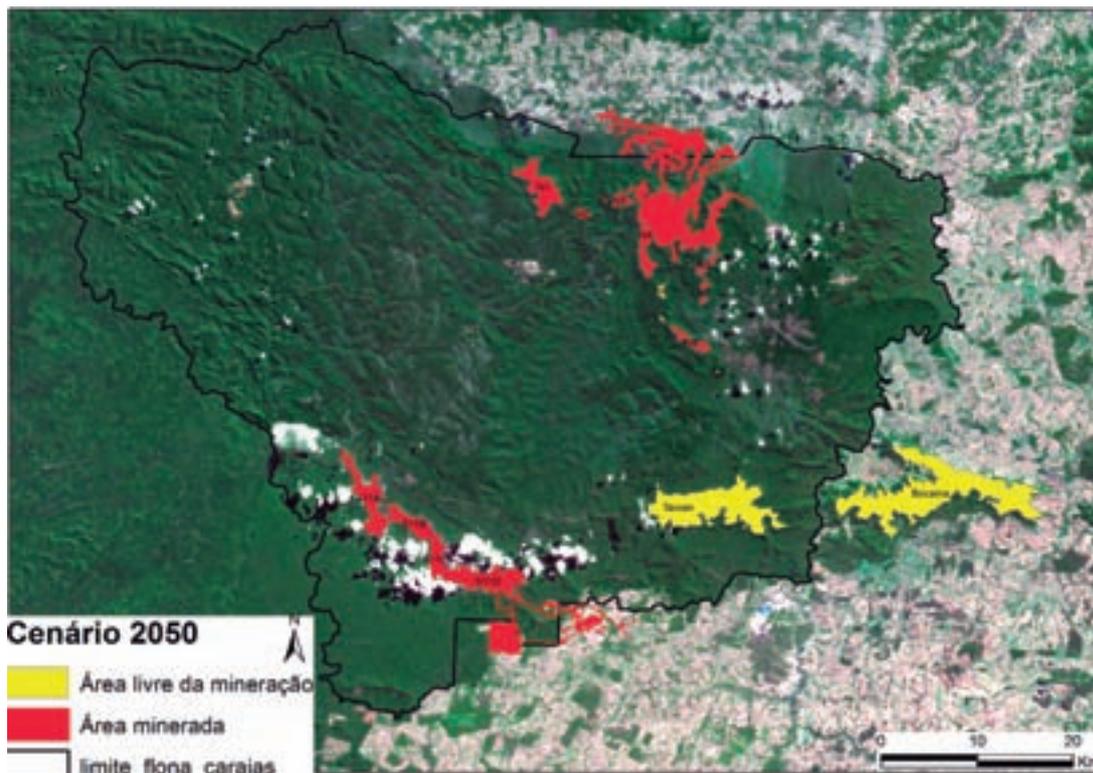


Figura 7 - Corpos de canga da Floresta Nacional de Carajás com a respectiva nomenclatura: Em amarelo os íntegros, e em vermelho os minerados. Cenário projetado pela VALE para 2050. Fonte: Arquivo ICMBio.



Figura 8 - Foto aérea do avanço da mineração sobre o ecossistema de canga na Floresta Nacional de Carajás. Fonte: Frederico Drumond Martins.



Figura 9 - Foto aérea da savana metalófila ainda íntegra na Floresta Nacional de Carajás, corpo S11D. Fonte: João Marcos Rosa.

Não há possibilidade de compatibilização no sentido que vem sendo dado, mas sim, de alguma compatibilização via divisão prévia do espaço. Se a destinação de uma área à mineração resulta em perda definitiva, é necessário que haja destinação, também definitiva, pética, de áreas significativas de cangas para a conservação, dentro da Flona Carajás. A manutenção da integridade de uma amostra significativa do ecossistema sobre a canga poderá comprovar a possibilidade de convivência, em bases aceitáveis para ambas as partes, entre estes dois setores, ambos de importância estratégica para o Estado Brasileiro.

O caso Quadrilátero Ferrífero/Aquífero

A região do Quadrilátero Ferrífero - recentemente rebatizada como “Quadrilátero Aquífero” por movimentos sociais que buscam sua conservação com ênfase na importância dos serviços ambientais de que se beneficia a população da região metropolitana de Belo Horizonte, e que aqui denominamos “Quadrilátero Ferrífero/Aquífero” (QFA) - é palco de muitos dos desdobramentos da história de Minas Gerais e do país. Ali estão as cidades de Ouro Preto, Mariana, Itabira, Catas Altas, Nova Lima e outras que passaram por diversos ciclos da mineração, relacionados à

diversidade e riqueza de minérios concentrados nestas formações (Roeser & Roeser, 2010). Em função da sua importância econômica, a região sempre foi palco de expressivas disputas políticas e sociais. Atualmente, agrega-se a essa complexidade a evidente importância ecológica, fruto da diversidade geológica, geomorfológica e biológica, esta última potencializada pelo posicionamento na transição entre Mata Atlântica e Cerrado (Salgado & Carmo, 2015), bem como sua contribuição estratégica na garantia de água em quantidade, regularidade e qualidade para a região metropolitana de mais de 5 milhões de habitantes (Mourão, 2007). A proximidade de Belo Horizonte garante ainda uma forte mobilização das diferentes forças políticas da sociedade que se confrontam ou se alinham em diferentes contextos e momentos, mas sempre de forma intensa (ex. Freitas, 2005, Roeser & Roeser, 2010).

A necessidade de preservar o que resta desta região é atualmente evidente, e se dá sob diferentes argumentos ou objetivos. Tem-se um grande número de unidades de conservação de várias categorias na região (Figura 3, Tabela 2), algumas descritas a seguir.

Na região, destacam-se o Santuário do Caraça (Santuário de Nossa Senhora Mãe dos Homens), reserva particular do patrimônio natural (RPPN) de cerca de 11 mil hectares (excepcionalmente grande para uma UC particular), sob a gestão dos padres e irmãos Vicentinos, criada com objetivos ambientais, mas também culturais e históricos. O Caraça não abriga geossistemas ferruginosos e, talvez por isso, figura como uma “ilha” bem conservada, cercada de mineração por todos os lados (Figura 10). A COPASA, Companhia de Saneamento de Minas Gerais, é responsável pela gestão das Áreas de Proteção Especial (APE – categoria não inserida no SNUC), de proteção a mananciais, e que têm importância também para a conservação da biodiversidade, como é o caso da APE de Fechos. Há ainda a proposta de reconhecimento de Geoparques (Azevedo, 2007), que visa a preservar amostras e visadas de sítios significativos do patrimônio geológico mundial (não é, portanto, uma proteção legal como a criação de uma UC, mas um “título” definido pela UNESCO, que representa uma certa obrigação moral de proteção, tal como as Reservas da Biosfera). Tem-se assim uma visão da diversidade de propósitos de conservação e uso da região, algumas vezes sinérgicos, em outras conflitantes. Vamos nos concentrar nas áreas com geossistemas ferruginosos e nas possibilidades de conservação conforme a categoria de UC.

Os processos de criação e de gestão da Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), mais conhecida por “APA Sul”, que abarca vastas porções do QFA (164 mil hectares), evidencia muitas destas convergências e tensões. Esta APA tem como objetivo declarado de criação:

“proteger e conservar os sistemas naturais essenciais à biodiversidade, especialmente os recursos hídricos necessários ao abastecimento da população da Região Metropolitana de Belo Horizonte e áreas adjacentes, com vista à melhoria de qualidade de vida da população local, à proteção dos ecossistemas e ao desenvolvimento sustentado” (art. 2º, Decreto Estadual 35.624/1994).

Tabela 2 - Lista das Unidades de Conservação (UC) do Quadrilátero Ferrífero/Aquífero que protegem alguma porção de geossistema ferruginoso (GF), com a área total protegida por cada uma e o total de área de GF contida. APA: Área de Proteção Ambiental; APE: Área de Proteção Especial; EE: Estação Ecológica; FE: Floresta Estadual; PE: Parque Estadual; PNM: Parque Natural Municipal; RPPN Reserva Particular do Patrimônio Natural; RMBH: região metropolitana de Belo Horizonte; UHE: usina hidrelétrica; BH: Belo Horizonte; US: uso sustentável; PI: proteção integral.

Categoria	Nome	Esfera	Grupo	Área (ha)	Área de GF (ha)
APA	Cachoeira das Andorinhas	Estadual	US	**18.035	3.918
APA	Igarapé	Municipal – Igarapé	US	6.544	1.114
APA	Sul da RMBH	Estadual	US	**152.971	56.306
APE	Rio Manso	Estadual	US*	60.514	4.326
APE	UHE de Peti	Estadual	US*	4.861	690
EE	Cercadinho	Estadual	PI	225	187
EE	Córrego dos Fechos	Estadual	PI	549	535
EE	Tripuí	Estadual	PI	445	87
FE	Uaimii	Estadual	US	4.586	1.987
PE	Serra do Rola Moça	Estadual	PI	4.032	3.512
PNM	Mangabeiras	Municipal – BH	PI	245	237
RPPN	Faz. J. Pereira/Poço Fundo	Federal	US	337	96
RPPN	Itajuru ou Sobrado	Federal	US	56	56
RPPN	Mata do Jambreiro	Estadual	US	1.488	452
Total PI				5.496	4.558
Total US				249.392	68.945
Total				254.888	73.503

* A categoria APE não consta do SNUC, mas incluímos as APE no grupo “Uso Sustentável” (US) por semelhança.

**Descontamos da área destas UCs as áreas sobrepostas a UC mais restritiva.

Trata-se de um instrumento de ordenamento territorial cuja plena implementação depende de um zoneamento ecológico econômico e de sistema de gestão participativo, como previsto no decreto de criação da UC. Sem o zoneamento, a APA pouco ou nada difere de uma área não protegida. Enquanto o governo do Estado de Minas Gerais foi capaz de elaborar e publicar um zoneamento ecológico-econômico para todo o Estado (o zoneamento foi publicado em 2008, Scolforo *et al.*), a complexidade do contexto socioeconômico e ambiental, envolvendo intrincado conjunto de interesses antagônicos (sobretudo mineração x conservação, mas também os grandes interesses imobiliários), levou a que a APA Sul completasse 20 anos sem um plano de manejo e respectivo zoneamento, apesar de diversos estudos realizados como subsídio, que contêm informações suficientes à necessária diferenciação entre áreas passíveis de usos e áreas que deveriam destinar-se à conservação. Um detalhe que difere o zoneamento de uma APA do ZEE do Estado é que, enquanto o primeiro pode estabelecer restrições de uso em determinadas zonas, o segundo é definido como “ferramenta sem caráter limitador, impositivo ou arbitrário” que

“apoiará a gestão territorial fornecendo subsídios técnicos à definição de áreas prioritárias para a proteção e conservação da biodiversidade e para o desenvolvimento, segundo critérios de sustentabilidade econômica, social, ecológica e ambiental” (Scolforo *et al.* 2008).

O ZEE, portanto, não tem o peso de determinar a proibição de quaisquer usos do território. Mas teve a importância de demonstrar, de forma estritamente técnica e por critérios bastante objetivos, a vocação de cada parte do território mineiro. A situação da APA Sul, sem plano de manejo aos 20 anos, quando a legislação estabelece o limite de cinco anos após a criação ou após a promulgação da Lei 9.985/2000 (SNUC), está longe de ser uma exclusividade desta UC. Mas é claro que a falta de plano de manejo ou de gestão é mais crítica em uma unidade de conservação que tem como objetivo principal o ordenamento territorial com ênfase na conservação dos recursos hídricos. A existência da APA Sul, até o momento, não representou empecilho para nenhum empreendimento minerário, e pouco contém a expansão imobiliária ou protege alvos específicos para além do previsto na legislação ambiental geral. A figura 10 mostra a situação de um setor da Serra do Rola Moça, dentro da APA Sul e parcialmente abrangida pelo Parque Estadual de mesmo nome, literalmente cercada de cavas, barragens de rejeitos e outras estruturas



Figura 10 - Áreas degradadas do geossistema ferruginoso inseridas na Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte, também sobreposta à zona de amortecimento do Parque Estadual da Serra do Rola Moça. Em primeiro plano, fragmento de canga, cuja situação é representativa de como estão as áreas naturais ainda existentes no Quadrilátero Ferrífero/Aquífero: “ilhas de natureza íntegra cercadas de mineração por todos os lados”. Fonte: Flávio do Carmo.

da mineração; a Figura 11 mostra placa encontrada na Serra de Itatiaiuçu, fora da APA Sul (mas dentro do QFA), que ilustra a intensidade desta confusão dos discursos.

A Serra do Gandarela é a mais importante área de recarga de aquíferos do QFA. O Quadrilátero tem reserva hídrica no aquífero estimada em 5 bilhões de m³, dos quais estima-se que 4 bilhões de m³ estejam no geossistema canga/formações ferríferas (IBRAM 2003). Na Serra do Gandarela estão cerca de 40% das áreas restantes de canga no Quadrilátero (Carmo, 2010), o que permite inferir que são altamente significativas as reservas hídricas encontradas no aquífero sob as cangas da região. As cangas contidas na proposta de criação do Parque Nacional da Serra do Gandarela corresponderiam, em termos de área, a pouco menos de 15% do que existia originalmente no QFA, conforme estimativas de Carmo (2010).



Figura 11 - Trilha de acesso ao Pico do Itatiaiuçu, na região sul do Quadrilátero Ferrífero. Quantas mensagens há nesta placa? Fonte: Katia T. Ribeiro.

Em 1994, criou-se o Parque Estadual da Serra do Rola Moça (PESRM), que protege cerca de 200 ha de cangas em seus 3.941 ha, a partir de negociação direta do governo estadual com uma mineradora, que teve permissão de mineração da lavra Capão Xavier. Interessante que, apesar de sua grande importância para a preservação de uma pequena amostra de cangas no Quadrilátero no cenário atual, seu decreto de criação (nº 36.071/1994) menciona apenas a importância como proteção a mananciais de água. Atualmente o PESRM é a única UC de proteção integral no Brasil a proteger cangas. Os geossistemas ferruginosos, que representam área mais ampla, têm na região do QFA pequenas porções efetivamente protegidas, isto é, inseridas em UC cujo diploma legal de criação impede sua mineração ou outra forma de destruição, como expansão imobiliária, embora nada indique que a proteção destas formações estivesse entre os objetivos centrais destas UCs (Tabela 2, Figura 3).

Tem-se, então, no QFA um instrumento legal geral (APA Sul) que, dadas as disputas territoriais na região e fragilidade do instrumento no caso da mineração em grande escala, não é suficiente para garantir a proteção dos geossistemas ferruginosos, e muito menos das cangas. Na hipótese de se fazer o zoneamento da APA Sul, poder-se-ia almejar que a atividade de mineração só fosse possível se considerasse a questão dos mananciais de água e a proteção de amostras significativas de vegetação de canga e de suas cavernas. Por que isso é tão difícil?

A realidade é que os cerca de 70 anos de ininterrupta e pouco cuidadosa exploração das jazidas de ferro do QFA já produziram um quadro onde o espaço de negociação entre mineração e conservação se tornou extremamente exíguo. As mineradoras, em muitos casos apoiadas por prefeituras ávidas por faturamento e por propaganda sobre “geração de emprego e renda”, tentam negociar as poucas regiões ainda não exploradas como se não houvessem já explorado todo o resto. A parcela da sociedade que defende os atributos ambientais da região já não está disposta a ceder parte do pouco que resta. Não se enxerga saída aceitável para a proteção das águas, das cangas, das cavernas e do potencial turístico da região, que não seja a criação do Parque Nacional da Serra do Gandarela, mas com abrangência próxima da proposta original apresentada pelo ICMBio em 2010, acrescida da Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) reivindicada em 2012 pelas comunidades rurais locais. No momento em que escrevemos este capítulo, no entanto, não sabemos qual vai ser o desenho final do almejado Parque Nacional da Serra do Gandarela.¹ Pelas disputas em curso, não é improvável que áreas expressivas de cangas fiquem fora desta unidade de conservação e, portanto, imediatamente sujeitas ao processo de licenciamento para mineração. Se, infelizmente, falhar a proteção destas áreas com a criação da unidade de conservação, que instrumentos restarão para a sociedade lançar mão?

¹ Em 13/10/2014 foi criado o Parque Nacional da Serra do Gandarela, com limites que deixaram de fora importantíssimas áreas de cangas. Este parque, portanto, não cumpriu o papel aqui defendido, cedendo a uma suposta “conciliação” que faz com as cangas uma espécie de “jogo das eternas metades”, entregando à mineração a metade do riquíssimo que restava devido à atuação passada dessa mesma mineração.

Conclusões

Dadas as contribuições dos geossistemas ferruginosos aos processos evolutivos, à riqueza de espécies endêmicas, à persistência de feições específicas, como as cavidades naturais subterrâneas, é pertinente esperar que uma parcela das áreas de cangas, compatível com os compromissos conservacionistas internacionais assumidos pelo Brasil, seja preservada em cada uma das seis áreas de geossistemas ferruginosos conhecidas. Em Carajás, negocia-se desde 2004 a proteção de uma “Área Mínima de Canga”, que deve representar uma porcentagem do que havia originalmente, que seja tecnicamente entendida como suficiente para evitar a perda de biodiversidade e garantir os processos evolutivos. Deveríamos ter a mesma expectativa para o Espinhaço, Peixe Bravo, Caetité e Urucum. E como fazer com o QFA, já explorado quase integralmente sem que houvesse, até recentemente, preocupação alguma com a conservação das cangas? É notável o avanço da discussão a partir dos excelentes estudos publicados nas últimas duas décadas sobre as cangas, em diversos aspectos.

No que se refere a UCs existentes que protegem as cangas, ou o geossistema ferruginoso como um todo, temos apenas uma UC federal que abrange esta formação, que é a Floresta Nacional de Carajás, cheia de peculiaridades originadas no seu próprio processo de criação. Uma leitura do decreto que a criou passa a impressão de que se conseguiu, com grande esforço, inserir algumas salvaguardas conservacionistas em um processo prioritariamente destinado a garantir a exploração das jazidas de minério de ferro e outros metais ali existentes. No QFA, embora exista a única UC de proteção integral contendo cangas no Brasil, o Parque Estadual da Serra do Rola Moça, a maior parte do geossistema está dentro da APA Sul, UC estadual criada em 1994 para garantir a integridade dos mananciais de água e ordenar a urbanização da porção sul da região metropolitana de Belo Horizonte, mas que não consegue ter efetividade, já que as pressões “desenvolvimentistas” têm impedido que exista plano de manejo e zoneamento, instrumentos fundamentais para a sua efetiva gestão. Sem estes, pouco se protegem os conhecidos atributos ambientais associados a estas formações, tanto no que se refere à biodiversidade quanto à presença de importantíssimos mananciais hídricos e de cavernas em cangas. Surge como esperança de proteção dos remanescentes a criação do Parque Nacional e da Reserva de Desenvolvimento Sustentável da Serra do Gandarela.

Ocorre que o processo de criação de novas unidades de conservação, que no passado foi muitas vezes pouco cuidadoso com eventuais sobreposições de interesses, muitas vezes legítimos, tornou-se hoje refém de uma conjuntura política onde a conservação perdeu *status* e ocupa posição subalterna na escala de prioridades dos governos. Alega-se que se pretende criar “unidades de conservação sem conflitos”, o que, no caso das cangas, equivale simplesmente a descartar a possibilidade de criação, já que o conflito é absolutamente inevitável. Infelizmente, parece que não se faz tanta questão de criar “empreendimentos de mineração sem conflitos”.

Se as preocupações conservacionistas atuais – que levam a que esteja em negociação a proteção de áreas mínimas de cangas em Carajás – existissem quando começou a exploração do QFA, a área de cangas protegidas seria maior do que o que se pretende preservar na Serra do

Gandarela. Por que, então, considera-se razoável “conciliar” conservação e mineração neste último remanescente mais significativo? Figuram entre os argumentos apresentados para propor a criação desta UC os compromissos brasileiros com a proteção de *espécies ameaçadas de extinção*: 159 espécies ameaçadas, presentes nas listas de Minas Gerais e do Brasil, classificadas como CR (Criticamente em Perigo), DD (Deficientes de Dados), EN (Em perigo), VU (Vulnerável) (Silva *et al.* 2013); os compromissos com o *uso múltiplo da água*; as recomendações do *Zoneamento Ecológico Econômico* do Estado de Minas Gerais; o *patrimônio espeleológico insubstituível*; e o *potencial turístico*, dependente, por sua vez, da quantidade e qualidade das águas e da integridade das paisagens. Na eventualidade de partes destas áreas ficarem fora da UC (o que infelizmente não é improvável, no atual contexto político e econômico de dependência do país da exportação de *commodities*)², o processo de licenciamento seria a oportunidade final de impedir o avanço da mineração sobre estas áreas remanescentes.

Além das dificuldades inerentes ao lidar com a assimetria em termos de poder político e econômico, quando se trata da disputa entre conservação e mineração, tem-se ainda que os prejuízos ambientais são percebidos regionalmente e os ganhos de capital são percebidos na escala nacional e internacional. Somam-se a isso as dificuldades legais e normativas encontradas nos processos de licenciamento para analisar os empreendimentos dentro de seu contexto regional – os empreendimentos são analisados e licenciados isoladamente, raramente considerando relações sinérgicas e aditivas entre eles. Levam-se em conta as áreas de influência direta e indireta dos empreendimentos individualmente, mas não se chega a uma análise integrada regional ou, caso se chegue a ela, não há instrumentos normativos que apoiem de forma consistente uma decisão por parte do órgão licenciador a partir deste tipo de análise. Esta limitação intensificou-se pela estratégia das empresas em fragmentar ainda mais o processo de licenciamento (MPF, 2014), por exemplo, licenciando a lavra de forma independente da via de escoamento da produção (mineroduto, estrada de ferro). No caso do QFA, tem-se um desafio adicional ao estabelecimento de um cenário otimizado de conservação, em comparação com o caso de Carajás – há muitas empresas envolvidas na mineração de ferro –; assim sendo, um eventual desenho de conservação afeta as empresas de forma diferenciada, abrindo outras frentes de disputa.

Estas questões evidenciam a necessidade de um planejamento integrado e que seja oficialmente reconhecido, ampliando a possibilidade de ação dos órgãos licenciadores. Para isto, um plano de ação nacional (instrumento que vem sendo adotado pelo ICMBio para a conservação de componentes da biodiversidade ameaçados) para os geossistemas ferruginosos pode ser uma ferramenta importante para viabilizar o estabelecimento de uma estratégia mais efetiva, que evite a extinção de todo um ecossistema no Brasil. Até aqui, os principais focos de resistência na sociedade têm sido os movimentos que buscam a proteção de áreas de importância evidente, próximas a grandes centros, como é o caso da Serra do Gandarela, e de movimentos que vêm crescendo na Serra do Espinhaço, alvo mais recente da mineração de ferro, mas que tem causado

² Como mencionado acima, este temor se concretizou com a criação, em outubro de 2014, do Parque Nacional da Serra do Gandarela, mutilado para atender aos interesses da mineração.

grande impacto ambiental e social na região de Conceição do Mato Dentro e em áreas que não têm minério, mas que vêm sendo impactadas pela construção de minerodutos.

Finalmente, na disputa quanto à destinação das áreas de canga, a legislação sobre cavidades naturais subterrâneas tem-se mostrado também uma importante ferramenta de conservação, merecendo atenção especial com vistas ao seu fortalecimento, especialmente no que diz respeito ao processo de compensação de cavernas. Neste sentido, a ideia de garantir áreas íntegras antes de se avançar em processos de licenciamento para a mineração, ou de compensar áreas mineradas por áreas íntegras equivalentes na mesma litologia, pode contribuir para um cenário nacional em que se consiga reduzir a ameaça de danos irrecuperáveis a este geossistema e a seus atributos associados.

A criação de unidade de conservação de proteção integral ou o zoneamento de uma unidade de uso sustentável em que se preveja a preservação de parcelas significativas de geossistemas ferruginosos são instrumentos que levam a uma proteção consistente. A proteção via processo de licenciamento é mais árdua, no sentido de exigir atenção permanente, excelente gestão do conhecimento, visão integrada, além de frequentemente envolver decisões calcadas em avaliações subjetivas quanto à aceitabilidade, ou não, de determinada intervenção. Em qualquer dos casos, é fundamental a atuação da sociedade no sentido de se fazer ouvir pelas autoridades competentes. A organização da sociedade civil pode conferir, e vem conferindo, um contrapeso fundamental à pressão das grandes corporações. Ao mesmo tempo, é importante partir para um programa geral e integrado de conservação de geossistemas ferruginosos e de seus atributos associados, com proposição de zoneamentos e diretrizes, que sirva de fundamento para balizar as decisões dos órgãos responsáveis pela gestão ambiental e as manifestações da sociedade.

Referências Bibliográficas

- Ab'Sáber, A.N. 1986. Geomorfologia da região Corredor Carajás-São Luiz. In: Almeida Jr. p. 88-124. [Republicado em Ab'Sáber, A.N. *Amazônia: do discurso à práxis*. São Paulo: Edusp, 1996.].
- Azevedo, U.R. 2007. *Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para a criação de um geoparque da UNESCO*. Tese de Doutorado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Geociências. 211 p.
- Brasil. 1980. Decreto nº 85.387, de 24 de novembro de 1980. Dispõe sobre a composição, competência e funcionamento do Conselho Interministerial do Programa Grande Carajás e dá outras providências. *Diário Oficial da União*.
- Campos, J.F. & Castilho, A.F. 2012. Uma visão geográfica da região da Flona de Carajás. In: Martins, F.D.; Castilho, A.F.; Campos, J.; Hatano, F.M. & Rolim, S.G. *Fauna da Floresta Nacional de Carajás: estudos sobre vertebrados terrestres*. São Paulo: Nitro Imagens. p. 16-27.
- Carmo, F. 2010. *Importância Ambiental e Estado de Conservação dos Ecossistemas de Cangas no Quadrilátero Ferrífero e Proposta de Áreas-Alvo para a Investigação e Proteção da Biodiversidade em Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Biológicas.
- Convention of Biological Diversity – CBD. 2014. *Aichi Biodiversity Targets*. Disponível em: <http://www.cbd.int/sp/targets/>. Acesso em 27 jul. 2014.
- Diamond, J. 2007. *Colapso: como as sociedades escolhem o fracasso ou o sucesso*. 5ª edição. Rio de Janeiro e São Paulo: Editora Record.
- Franco, J.L.A. 2013. O conceito de biodiversidade e a história da biologia da conservação: da preservação da *wilderness* à conservação da biodiversidade. *História [online]*, 32(2): 21-48.
- Freitas, E.S.M. 2005. Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE): Instrumento da reprodução social da metrópole ao sul de Belo Horizonte. In: X Encontro de Geógrafos da América Latina. Universidade de São Paulo. São Paulo. *Anais...* Disponível em: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal10/Geografiasocioeconomica/Ordenamientoterritorial/20.pdf>.
- Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM. 2003. *Contribuição do IBRAM para o zoneamento ecológico-econômico e o planejamento ambiental de municípios integrantes da APA-SUL RMBH*. 322 p.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. 2003. *Plano de manejo para uso múltiplo da Floresta Nacional de Carajás*. Companhia Vale do Rio Doce e STCP Engenharia de Projetos Ltda. 213 p.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. 2007. *Efetividade de gestão das unidades de conservação federais do Brasil*. Brasília: IBAMA e WWF-Brasil. 96 p.
- Ministério do Meio Ambiente – MMA. 2008. *Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Atualização - Portaria MMA nº 9, de 23 de janeiro de 2007*. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Brasília: MMA (Série Biodiversidade, 31). 327 p.

- Ministério Público Federal – MPF. 2014. Disponível em: http://noticias.pgr.mpf.mp.br/noticias/noticias-do-site/copy_of_meio-ambiente-e-patrimonio-cultural/mpf-mg-pede-a-paralisacao-das-obras-de-construcao-do-mineroduto-minas-rio-2. Acesso em 31 jul. 2014.
- Mittermeier, R.A.; Fonseca, G.A.B.; Rylands, A.B. & Brandon, K. 2005. Uma breve história da conservação da biodiversidade no Brasil. *Megadiversidade*, 1(1): 14-21.
- Morellato, L.P.C. & Rosa, N.A. 1991. Caracterização de alguns tipos de vegetação na região amazônica, Serra dos Carajás, Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 14: 1-14.
- Mourão, M.A.A. 2007. *Caracterização hidrogeológica do Aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG*. 297p. Tese de Doutorado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.
- Porto, M.L. & Silva, M.F.F. 1989. Tipos de vegetação metalófila em áreas da Serra de Carajás e de Minas Gerais. *Acta Botanica Brasilica*, 3(2): 13-21.
- Rizzini, C.T. 1997. *Tratado de Fitogeografia do Brasil*. 2ª edição. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições. 747 p.
- Roeser, H.M.P. & Roeser, P.A. 2010. O Quadrilátero Ferrífero - MG, Brasil: aspectos sobre sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados. *Geonomos*, 18(1): 33-37.
- Salgado, A.A.R. & Carmo, F.F. 2015. Quadrilátero Ferrífero: A Beautiful and Neglected Landscape Between the Gold and Iron Ore Reservoirs. In: Vieira, B.C.; Salgado, A.A.R. & Cordeiro, L.J. *Landscapes and Landforms of Brazil*. Springer. 501 p.
- Santos, J.L.R. 2010. *Território em transe: a Floresta Nacional de Carajás*. In: 5º Encontro Nacional da ANPPAS. Florianópolis. *Anais...* Disponível em: <http://www.anppas.org.br/encontro5/cd/artigos/GT16-43-16-20100903195758.pdf>.
- Scolforo, J.R.S.; Oliveira, A.D. & Carvalho, L.M.T. 2008. *Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Minas Gerais: zoneamento e cenários exploratórios*. Lavras: Editora UFLA. 136 p.
- Secco, R.S. & Lobo, M.G.A. 1988. Considerações taxonômicas e ecológicas sobre a flora dos campos rupestres da Serra dos Carajás. *Boletim FBCN*, 23: 30-44.
- Secco, R.S. & Mesquita, A.L. 1983. Nota Sobre a Vegetação de Canga da Serra Norte. I. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Nova Série Botânica*, 59: 1-13.
- Silva, L.M.; Serio, R.A. & Viana, P.L. 2014. *Catálogo da flora ameaçada de extinção do Quadrilátero Ferrífero*. 64º Congresso Nacional de Botânica. Belo Horizonte. *Anais...*
- Silva, M.F.F.; Secco, R.S. & Lobo, M.G. 1996. Aspectos ecológicos da vegetação rupestre da Serra dos Carajás, Estado do Pará, Brasil. *Acta Amazonica*, 26: 17-44.
- Trajano, E. 2010. Políticas de conservação e critérios ambientais: princípios, conceitos e protocolos. *Estudos Avançados*, 24: 135-146.
- Veiga, M.M. & Hinton, J.J. 2002. Abandoned artisanal gold mines in the Brazilian Amazon: a legacy of mercury pollution. *Natural Resources Forum*, 26: 13-24.
- Vincent, R.C. 2004. *Florística, fitossociologia e relações entre a vegetação e o solo em área de campos ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Tese de Doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo. 145 p.

A photograph of a volcanic landscape. In the foreground, there are several small, spiky plants with green and purple leaves growing on dark, rocky soil. A dirt road winds through the middle ground, leading towards a hazy, mountainous background. The sky is overcast and grey.

Considerações finais

Flávio Fonseca do Carmo & Luciana Hiromi Yoshino Kamino

Entre os assuntos abordados nos 19 capítulos desta publicação, destacaram-se três temas por serem frequentemente explicitados por quase todos os respectivos autores:

- 1) apontamento de atributos ambientais e culturais inquestionavelmente relevantes para a conservação;
- 2) necessidade de aprofundamento dos estudos e integração de linhas temáticas dos projetos de pesquisas; e
- 3) necessidade de elaboração de políticas públicas adequadas para a multidisciplinaridade inerente aos Geossistemas Ferruginosos.

A mineração de superfície é um dos fatores globais dominantes de uso do solo e, como consequência, de alteração da paisagem nos Geossistemas Ferruginosos. No Brasil, a maioria das áreas ferruginosas estão fora de unidades de conservação de proteção integral e todas estão sobrepostas por títulos minerários. Sob essa perspectiva, ficou evidente a urgência para o início do planejamento e a execução de ações frente as profundas alterações da paisagem (Figura 1) ocorridas em resposta às demandas mundiais por minério de ferro, que já causaram a perda e a degradação de extensas áreas naturais (Johnson & Wrigth, 2001; Gibson et al., 2010; Ferreira et al., 2014; Sonter et al., 2014; Jacobi et al., 2011; 2015).

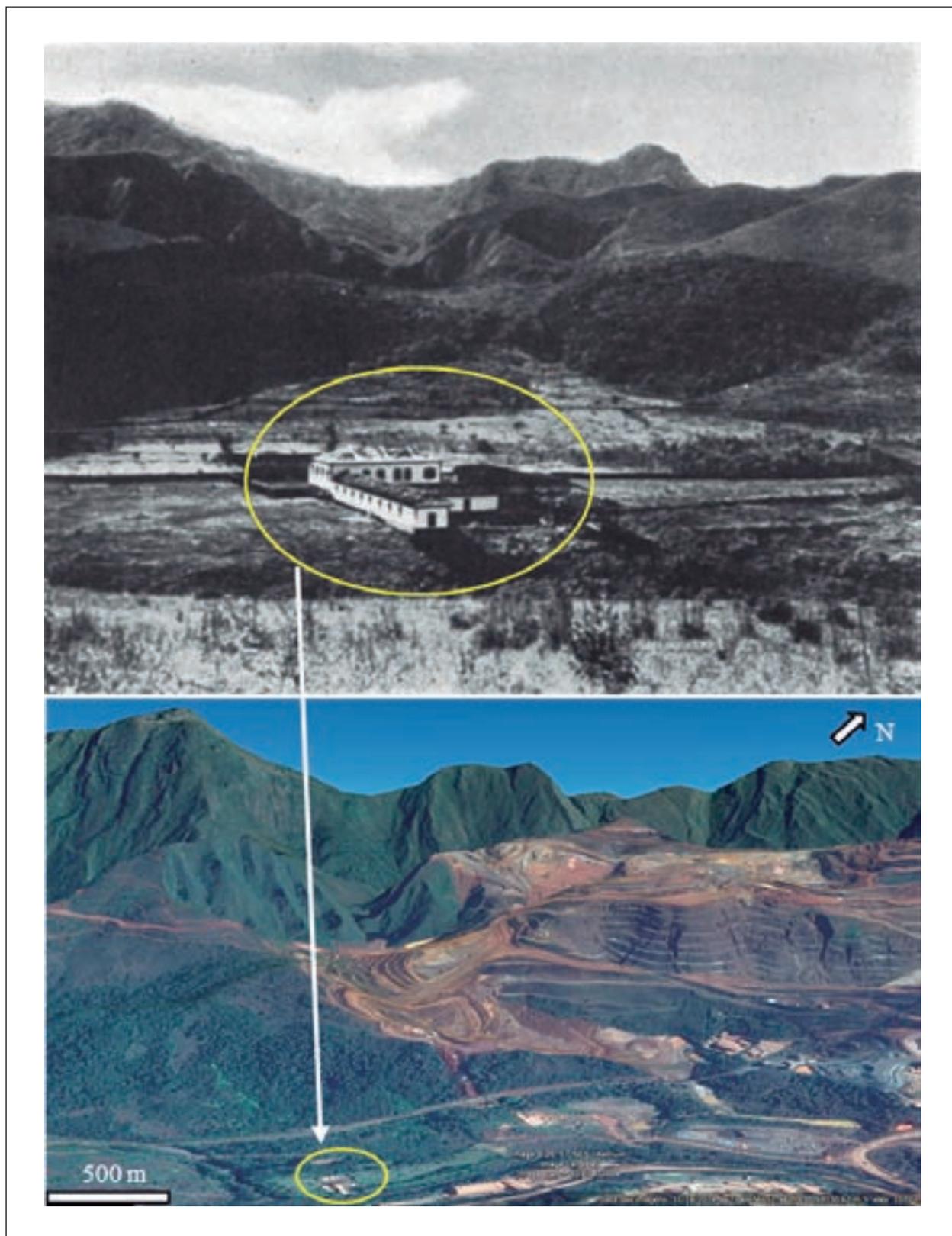


Figura 1 – Profundas alterações na paisagem da região da antiga Fazenda Alegria, atualmente município de Ouro Preto, Quadrilátero Ferrífero, MG. Acima: fotografia da sede da Fazenda Alegria publicada em Harder & Chamberlin (1915). Ao fundo o contraforte de quartzito da Serra do Caraça. Entre a sede da fazenda e a Serra do Caraça ocorrem montanhas constituídas por formações ferríferas. Abaixo: imagem atual identificando as perdas de áreas naturais de Geossistema Ferruginoso devido à operação de mina a céu aberto de extração de ferro. Fonte: *Google Earth Pro*.

Destacou-se a ausência ou a baixa frequência de estudos científicos publicados para os geossistemas de Caetité (BA), Bacia do Rio Santo Antônio (MG), Vale do Rio Peixe Bravo (MG) e Morraria de Urucum (MS). Mesmo para os geossistemas que apresentaram um volume relativamente maior de estudos científicos, como o Quadrilátero Ferrífero (MG) e Carajás (PA), ainda são escassos os trabalhos de síntese que pudessem gerar bases teóricas capazes de nortear políticas públicas ou gerar demandas para a execução, por exemplo, de análises ambientais integradas.

Interessante destacar ainda que mesmo contendo dezenas de cavas a céu aberto, algumas em atividade por décadas, e por conseguinte, sendo objeto de mais de uma centena de processos de licenciamento ambiental, ainda não existem para os Geossistemas Ferruginosos estudos geoambientais de longa duração. Esses estudos são estratégicos para se compreender a complexa dinâmica das alterações ambientais, em que na maioria dos casos ocorrem em longo espaço de tempo. Uma estratégia que poderia contribuir com o aprofundamento dos estudos e integração de linhas temáticas dos projetos de pesquisas seria o desenvolvimento dos chamados Programa Ecológico de Longa Duração (PELD). De acordo com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, 2013) justifica-se a criação do PELD por ser:

“necessário um acompanhamento sistêmico e integrado de vários indicadores ecológicos e ambientais, colhidos ao longo do tempo, dando base para a formulação de hipóteses e para a compreensão dessa dinâmica. Também não basta o acompanhamento de um único sítio ou bioma. As transformações ambientais afetam diferentemente ambientes diversos, e à complexidade temporal temos que adicionar a complexidade geográfica. Assim, a compreensão mais abrangente das alterações ambientais requer que pesquisadores, trabalhando em diferentes sítios, interajam e troquem experiências e dados. No caso brasileiro, é o estudo sistemático de sítios representativos de nossa diversidade ecológica que permite detectar tendências naturais, bem como os impactos das atividades antrópicas, fundamentando a formulação de políticas públicas voltadas à conservação e à gestão sustentável do nosso meio ambiente.” Grifos nossos.

Outra estratégia seria a implementação dos Planos de Ação Nacionais (PAN) para a Conservação dos Geossistemas Ferruginosos. Os PANs são coordenados pelo Ministério do Meio Ambiente, e que de acordo com o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade¹ (ICMBio):

“buscam identificar, a partir das ameaças que põe em risco as espécies, quais instrumentos de gestão devem ser orientados ou otimizados, visando um efeito benéfico direto. Suas ações abrangem de forma objetiva a interferência em políticas públicas, o desenvolvimento de conhecimentos específicos, a sensibilização de comunidades e o controle da ação humana para combater as ameaças que põe as espécies ameaçadas em risco de extinção.

¹ <http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/fauna-brasileira/2742-plano-de-acao-saiba-mais.html>

Desta forma, promove a integração de várias estratégias e políticas públicas potencializando seu efeito. São medidas recorrentes adotadas nos PAN: a criação e implementação de unidades de conservação, regularização fundiária, licenciamento e compensação ambiental, pesquisa aplicada, conservação *ex-situ*, educação ambiental, fiscalização, recuperação de áreas degradadas, projetos de usos sustentáveis dos recursos naturais.”

O Ministério do Meio Ambiente já ratificou a importância ambiental extremamente alta presente nas regiões de alguns Geossistemas Ferruginosos, como o Quadrilátero Ferrífero e a Serra de Carajás. Essas regiões foram indicadas como áreas prioritárias para a conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira. Definiu-se como ação prioritária, a criação de unidades de conservação (MMA, 2008). Portanto, ficou evidente que estamos no momento oportuno para definitivamente integralizarmos o uso racional dos recursos naturais com as necessidades de conservação de áreas naturais capazes de manter a diversidade biológica e os benefícios trazidos pela conservação do patrimônio geoambiental e cultural, além dos serviços ecossistêmicos.

Referências Bibliográficas

- Ferreira, J.; Aragão, L.E.O.C.; Barlow, J.; Barreto, P.; Berenger, E.; Bustamante, M.; Gardner, T.A.; Lees, A.C.; Lima, A.; Louzada, J.; Pardini, B.; Parry, L.; Peres, C.A.; Pompeu, P.S.; Tabarelli, M. & Zuanon, J. 2014. Brazil's environmental leadership at risk. *Science*, 346: 706-707.
- Gibson, N.; Yates, C.J. & Dillon, R. 2010. Plant communities of the ironstone ranges of South Western Australia: hotspots for plant diversity and mineral deposits. *Biodiversity and Conservation*, 19: 3951-3962.
- Harder, E.C. & Chamberlin, R.T. 1915. The Geology of Central Minas Geraes, Brazil. *The Journal of Geology*, 23: 385-424.
- Jacobi, C.M.; Carmo, F.F. & Campos, I.C. 2011. Soaring extinction threats to endemic plants in Brazilian metal-rich regions. *AMBIO*, 40: 540-543.
- Jacobi, C.M.; Carmo, F.F. & Campos, I.C. 2015. Iron geosystems: priority areas for conservation in Brazil. In: Tibbett, M. *Mining in Ecologically Sensitive Landscapes*. 1st edition. Collingwood: CSIRO & CRC Press. p. 1-24.
- Johnson, S.L. & Wrigth, A.H. 2001. *Central Pilbara Groundwater Study*. Water and Rivers Commission, Hydrogeological Record Series, Report HG 8. 102 p.
- MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. 2013. *PELD – CNPq: dez anos do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração do Brasil: achados, lições e perspectivas / Marcelo Tabarelli... [et al.]*. – Recife: Editora Universitária da UFPE. 446 p.: il. – (Série de Publicações PELD).
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. 2008. *Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Atualização - Portaria MMA nº9, de 23 de janeiro de 2007. / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas*. – Brasília: MMA, (Série Biodiversidade, 31). 327 p.
- Sonter, L.J.; Barret, D.J.; Soareas-Filho, B. & Moran, C.J. 2014. Global demand for steel drives extensive land-use in Brazil's Iron Quadrangle. *Global Environmental Change*, 26: 63-72.

REALIZAÇÃO:



APOIO INSTITUCIONAL:



EDITORA

ISBN 978-85-66115-48-2



9 788566 115482