

Flávio Fonseca do Carmo

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 apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre (ECMVS) da Universidade Federal de Minas Gerais para a obtenção de título de Mestre.

Orientadora: Dra. Claudia Maria Jacobi

Belo Horizonte - MG

2010

“No dia em que cada ser humano perceber o engodo do livre-arbítrio e com isso conseguir ser livre de fato, não serão necessários modelos de desenvolvimento sustentado, ideologias igualitárias ou lutas de classes, e muito menos salvadores dos pobres e oprimidos, pois, nesse dia, cada um de nós saberá o que fazer.”

Ricardo Iglesias Rios

AGRADECIMENTOS

Muitos amigos trabalharam ‘herculeamente’ e contribuíram enormemente para este estudo. Jamais poderei retribuir da mesma forma. Obrigado a todos os fundadores da ‘Nico Team’, José Eugênio do Carmo, Felipe Fonseca, Leonardo Cotta, Ericson Silva e aos sócios Lucas Perillo e Matheus Toshiba. E claro, as aspirantes Iara Campos e Cecília.

Claudia Jacobi, minha orientadora, sempre incentivando, ensinando e discutindo idéias. Jamais poderei retribuir.

Aos amigos do laboratório de sistemática vegetal, em especial a Pedro Viana, Gustavo Heringer, Marcos Sobral, Rubens Custódio, João Stehmann, Nara Furtado, Livia Echter, Leonardo Viana e Fernando Marino pela enorme contribuição e ensinamentos.

A todos os amigos do Laboratório de Interação Animal-Planta.

Aos financiadores: CNPq, FAPEMIG e US Fish & Wildlife Service.

A companhia VALE, em especial a Ana Flávia Rodrigues, por autorizar o estudo em uma das áreas mais relevantes para a conservação das cangas e ao Edil Souza pela presteza e boa vontade.

Aos amigos e colegas do P.E. Serra do Rola Moça pela boa vontade em colaborar com os estudos.

Ao Cassiano “FLECHA”, Raul Herrmann, Silvana Terenzi, Ronald C. Guerra, Cristina e a todas as pessoas que nos deram um imprescindível suporte técnico (leia-se casa, comida e boa conversa) durante os trabalhos de campo.

A minha família por todo o apoio.

ÍNDICE

Resumo.....	1
Abstract.....	2
1 – Introdução.....	3
2 – Objetivos.....	17
3 – Método.....	17
3.1 – As cangas constituem áreas com alto valor para a conservação ambiental?.....	22
3.2 – Avaliação do estado de conservação dos ecossistemas de cangas no Quadrilátero Ferrífero.....	24
3.2.1 – Análise espacial e elaboração de um índice de vulnerabilidade.....	25
3.2.2 – Elaboração e aplicação de um protocolo de avaliação ambiental.....	26
3.2.3 – Diagnóstico ecorregional e priorização para a conservação.....	34
3.3 – Proposta de áreas-alvo para a investigação da diversidade biológica e identificação de áreas-prioritárias para a conservação das cangas em Minas Gerais.....	40
4 – Resultados	
4.1 – As cangas constituem áreas com alto valor para a conservação?.....	41
4.2 – Avaliação do estado de conservação dos ecossistemas de cangas no Quadrilátero Ferrífero.....	47
4.2.1 – Análise espacial e elaboração de um índice de vulnerabilidade.....	47
4.2.2 – Elaboração e aplicação de um protocolo de avaliação ambiental.....	57
4.2.3 – Diagnóstico ecorregional e priorização para a conservação.....	62
4.3 – Proposta de áreas-alvo para a investigação da diversidade biológica e identificação de áreas-prioritárias para a conservação das cangas em Minas Gerais.....	64
5 – Discussão.....	67
6 – Referencias Bibliográficas.....	77
Anexo 1.....	87
Anexo 2.....	88
Anexo 3.....	90

LISTA DAS FIGURAS

- Figura 1 – Abundância relativa global de formações ferríferas bandadas em relação ao volume da maior ocorrência conhecida: Grupo Hamersley, Austrália. (Adaptado de Klein, 2005).....4
- Figura 2 – Canga com aspecto de “ilha ferruginosa” (altitude: 1.400 m) localizada no P.E. Serra do Rola Moça, Quadrilátero Ferrífero, MG.....5
- Figura 3 – Produção brasileira de minério de ferro. Fonte: Santos (1973); Alecrim (1982); IBRAM (2008; 2009); DNPM (2004; 2006; 2007; 2008).....6
- Figura 4 – Pico do Itabirito, município de Itabirito, em duas representações. No alto, desenho de F.J. Stephan, (1840). Embaixo, desenho de Marianne North (1873).....8
- Figura 5 – A Serra da Piedade, entre os municípios de Caeté e Sabará, em duas representações. No alto, a S. Piedade vista a partir da localidade de Gongo Soco, desenho de Marianne North (1873). Embaixo, detalhe da vegetação rupícola crescendo sobre os blocos de itabirito - formações ferríferas bandadas. Ilustração de um artigo de Eugenius Warming publicado em 1869. Adaptado de Gomes (2006).....9
- Figura 6 – Sítio arqueológico localizado em cangas da região de Urucum, MS. Detalhe dos petróglifos (Girelli, 1994).....10
- Figura 7 – Heterogeneidade ambiental e as diversas fisionomias vegetais encontradas em cangas no Quadrilátero Ferrífero.....12
- Figura 8 – A) A Cadeia do Espinhaço e em destaque o Quadrilátero Ferrífero, MG. Adaptado de Giulietti *et al.* (1997); B) Mapa do relevo do setor mineiro da Cadeia do Espinhaço e em destaque o Quadrilátero Ferrífero. Adaptado de Miranda (2005).....18
- Figura 9 – Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero e limites dos municípios. Adaptado de SIAM (2009).....19
- Figura 10 – Relevo do Quadrilátero Ferrífero (adaptado de Miranda, 2005) e as principais estruturas geológicas (Endo *et al.*, 1991).....21
- Figura 11 – Distribuição das cangas (n = 325) no Quadrilátero Ferrífero, representando as áreas de referência. Adaptado de Lobato *et al* (2005).....48

Figura 12 – Número de cangas (n = 325), por categoria de tamanho, que ocorriam no Quadrilátero Ferrífero até a década de 1960.....	48
Figura 13 – Número de cangas (n = 325), por categoria de altitude, que ocorriam no Quadrilátero Ferrífero até a década de 1960.....	49
Figura 14 – Área total (ha) das cangas (n = 325) no Quadrilátero Ferrífero distribuída por classes de perda de hábitat.....	50
Figura 15 – Número de cangas ‘originais’ (n = 325) e número atual (n = 225), por categoria de tamanho.....	51
Figura 16 – Distribuição atual das cangas (n = 225) no Quadrilátero Ferrífero, MG. Adaptado de Lobato <i>et al.</i> (2005).....	52
Figura 17 – Principais agentes causadores de perdas de cangas no Quadrilátero Ferrífero, MG.....	54
Figura 18 – Perdas de áreas de cangas e alterações na paisagem provocadas pela extração de minério de ferro.....	55
Figura 19 – Áreas remanescentes de cangas (n = 225) de acordo com a proximidade de uma cava de extração de minério.....	56
Figura 20 – Cangas atuais (n = 225) classificadas de acordo com o índice de vulnerabilidade.....	56
Figura 21 – Total das áreas (ha) das 34 cangas avaliadas e suas respectivas categorias de ameaça. CR: Criticamente em perigo (n = 4); EN: Em perigo (n = 11); VU: Vulnerável (n = 18); RE: Relativamente estável (n = 1).....	58
Figura 22 – Contribuição média dos indicadores agrupados por categoria de ameaça. CR: Criticamente em perigo. EN: Em perigo; VU: Vulnerável; RE: Relativamente estável. N = 34 cangas avaliadas.....	59
Figura 23 – Notas médias dos três itens avaliados no protocolo, por categoria de ameaça. CR: Criticamente em perigo (n = 4 cangas); EN: Em perigo (n = 13 cangas); VU: Vulnerável (n = 16 cangas); RE: Relativamente estável (n = 1 canga).....	60
Figura 24 – Títulos minerários para ferro em regiões de cangas e formações ferríferas bandadas no Quadrilátero Ferrífero, MG.....	61

Figura 25 – Títulos minerários e os principais depósitos de minério de ferro associados às formações ferríferas bandadas em Minas Gerais.....	65
Figura 26 – Sobreposição das Áreas-Chave para a Biodiversidade (Giulietti <i>et al.</i> , 2009) que contém títulos minerários de ferro, das unidades de conservação de proteção integral e dos principais depósitos de minério de ferro em Minas Gerais.....	66
Figura 27 – Distribuição atual das cangas e a localização das áreas prioritárias para a conservação no Quadrilátero Ferrífero, MG.....	70

LISTA DAS TABELAS

Tabela 1 - Indicadores utilizados no protocolo de avaliação do estado de conservação das cangas do Quadrilátero Ferrífero, MG.....	30
Tabela 2 - Categorias de ameaça iminente e os principais agentes causadores de degradação ambiental em áreas de cangas no Quadrilátero Ferrífero. Adaptado de Dinerstein <i>et al.</i> (1995).....	34
Tabela 3 – Índice de ameaça ambiental (Dinerstein <i>et al.</i> , 1995).....	37
Tabela 4 – Matriz de integração para hierarquização de áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade (Dinerstein <i>et al.</i> ,1995). CR: Criticamente em perigo; EN: Em perigo; VU: Vulnerável; RE: Relativamente estável; RI: Relativamente intacto. I: localidades com extrema prioridade para a conservação.....	39
Tabela 5 – Espécies de plantas vasculares com alto valor para a conservação que ocorrem no Quadrilátero Ferrífero, MG. DG : distribuição geográfica; CG : endêmica ou presumivelmente endêmica de cangas do Quadrilátero Ferrífero; QF : Quadrilátero Ferrífero; PLR : planta rara (<i>sensu</i> Giulietti <i>et al.</i> , 2009); BR : Lista Oficial das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção; MG : Lista das Espécies Ameaçadas de Extinção da Flora do Estado de Minas Gerais; AE : ameaçada de extinção; EX : extinta; CR : criticamente em perigo; EN : em perigo; VU : vulnerável; NA : não ameaçada; DD : deficiência de dados.....	44
Tabela 6 – Comparação entre as áreas de referência e as áreas atuais de cangas localizadas no Quadrilátero Ferrífero, MG. As linhas pontilhas indicam os maiores valores de cada coluna.....	53
Tabela 7 – Índice de Vulnerabilidade das cangas no Quadrilátero Ferrífero, MG.....	57
Tabela 8 – Síntese das avaliações finais do estado de conservação das cangas no Quadrilátero Ferrífero, MG.....	67

RESUMO

Os afloramentos ferruginosos conhecidos como *cangas* estão entre os sistemas ecológicos mais ameaçados do Brasil devido a sua distribuição restrita e associada aos principais depósitos de minério de ferro do país. As *cangas* abrigam comunidades naturais com alto valor para a conservação, caracterizadas pelas elevadas diversidades alfa e beta, e pela presença de várias espécies raras, endêmicas e ameaçadas. Além da biodiversidade, as *cangas* abrigam um patrimônio geoambiental e arqueológico e também fornecem serviços ambientais vitais para a sociedade, como a recarga hídrica. O estado de conservação dos ecossistemas de *cangas* localizados no Quadrilátero Ferrífero, uma das principais províncias minerais do mundo, foi determinado com o uso de três métodos: análise espacial e elaboração de um índice de vulnerabilidade; elaboração e aplicação de um protocolo de avaliação ambiental e diagnóstico ecorregional. Para Minas Gerais foram propostas áreas-alvo para a investigação da diversidade biológica a partir de registros geológicos das formações ferríferas bandadas, formações em que as *cangas* estão geneticamente associadas. Para a identificação das áreas prioritárias para a conservação em Minas Gerais adotou-se a análise de lacunas, um método que integra atributos como vulnerabilidade, representatividade no sistema de unidades de conservação e insubstituibilidade. No Quadrilátero Ferrífero, em menos de 40 anos, cerca 40% das áreas de *canga* foram irreversivelmente perdidas, extinguindo-se 100 afloramentos ferruginosos. A mineração foi a causa de 85% da perda de hábitat. As alterações na paisagem provocaram o aumento nas distâncias entre os afloramentos e uma redução das áreas médias das *cangas* em cerca de 13%. De acordo com os três métodos as *cangas* foram classificadas como criticamente em perigo. As áreas-alvo para a investigação científica foram constituídas pelas regiões de Riacho dos Machados, Porteirinha, Rio Pardo de Minas e Grão-Mogol (norte do Espinhaço mineiro); Conceição do Mato Dentro e Morro do Pilar (próximos da Serra do Cipó); Alvorada de Minas e Serro (Planalto de Diamantina); Guanhães (Região do Vale do Rio Doce) e Fortaleza de Minas (sudeste do estado). As áreas prioritárias para a conservação das *cangas* localizam-se no Quadrilátero Ferrífero, Riacho dos Machados, Porteirinha, Rio Pardo de Minas, Grão-Mogol, Conceição do Mato Dentro, Morro do Pilar, Alvorada de Minas e Serro. Nestas áreas existem projetos em andamento para a implementação ou expansão da exploração mineral. Em Minas Gerais menos de 280 ha de *cangas* estão localizados em unidades de conservação de proteção integral. Esta situação deve ser urgentemente revertida, pois as pressões (presentes e projetadas) nestes ecossistemas podem torná-los funcionalmente extintos.

ABSTRACT

Ironstone outcrops, known as *cangas*, are among the most threatened Brazilian ecological systems, due to their restricted distribution associated with the main iron ore deposits in the country. *Cangas* harbor natural communities with high conservation value, characterized by high alpha and beta diversities, and the presence of several rare, endemic, and threatened species. Besides their biodiversity, these environments host a geological and archaeological patrimony, aside from providing environmental services vital to society, such as water recharge. The conservation state of *canga* ecosystems in the Iron Quadrangle, one of the world's most important mineral provinces, was determined using three methodologies: GIS spatial analyses, application of an environmental evaluation protocol, and the adoption of a threat index developed for the Latin American ecoregions. For Minas Gerais, target areas for the research of biological diversity were proposed, based on geological records of banded iron formations, to which *cangas* are genetically associated. To identify priority areas for conservation in Minas Gerais, a gap analysis was adopted, which integrates attributes such as vulnerability, representativity in conservation units and irreplaceability. In the Iron Quadrangle, in less than 40 years, around 40% of *cangas* were irreversibly lost, extinguishing 100 ironstone outcrops. Mining activities were the cause of 85% of hábitat loss. Landscape alterations resulted in increased distances among outcrops and a decrease in mean *canga* area of about 13%. According to the three methods, *cangas* were classified as critically endangered. Target areas for scientific research comprised the regions of Riacho dos Machados, Porteirinha, Rio Pardo de Minas and Grão-Mogol (N of Minas Gerais Espinhaço); Conceição do Mato Dentro and Morro do Pilar (near Serra do Cipó); Alvorada de Minas and Serro (Planalto de Diamantina); Guanhães (Vale do Rio Doce region), and Fortaleza de Minas (SE of Minas Gerais). Priority áreas for *canga* conservation are located in the Iron Quadrangle, Riacho dos Machados, Porteirinha, Rio Pardo de Minas, Grão-Mogol, Conceição do Mato Dentro, Morro do Pilar, Alvorada de Minas, and Serro. In these areas there are projects for the implementation or expansion of mineral exploitation. In Minas Gerais less than 280 ha of *cangas* are located within Full Protection conservation units. This situation needs to be urgently reverted, because the pressure (present and projected) on these ecosystems may render them functionally extinct.

1 - INTRODUÇÃO

As atuais demandas humanas por recursos de energia endossomática (ingestão de alimentos) e exossomática (combustíveis fósseis e eletricidade, por exemplo) provocam, direta ou indiretamente, a destruição dos ambientes naturais (Rios, 1995; Hoekstra *et al.*, 2005). Com uma população mundial de 6,8 bilhões de pessoas (U.S. Census Bureau, 2009) e com uma taxa de crescimento positivo de 1,2% a.a. (Bongaarts, 2009) – um acréscimo de quase três humanos a cada segundo – pode-se imaginar as quantidades colossais de energia utilizadas para a manutenção da ‘entalpia humana global’. Da mesma forma, pode-se imaginar a ‘entropia’ dos sistemas naturais globais. De fato, essa perda e degradação de áreas naturais estão diretamente associadas ao aumento de até 1000 vezes nas atuais taxas de extinção de espécies, quando comparadas com as taxas de extinções naturais (Pimm *et al.*, 1995).

O Brasil, reconhecido como detentor de uma das maiores biodiversidades do planeta (Lewinsohn & Prado, 2005), já abriga dois *hotspots* mundiais de biodiversidade (Myers *et al.*, 2000): a Mata Atlântica e o Cerrado, ambos caracterizados pela elevada diversidade biológica, pelos altos níveis de endemismos e pelo alto estágio de degradação ambiental. A destruição da biodiversidade causada pelos impactos humanos na Amazônia, Caatinga e Pantanal (Brandon *et al.*, 2005) parecem confluir inexoravelmente para a mesma situação.

A Convenção da Diversidade Biológica, da qual o Brasil é signatário, solicitou aos países participantes a definição de metas com o objetivo de reduzir a erosão da diversidade biológica priorizando um sistema de áreas protegidas que considerasse a representatividade dos ecossistemas (UNEP/COP 6 - Decisão VI/26, 2001). Desta forma, a Comissão Nacional de Biodiversidade adotou, entre um conjunto de metas para 2010, a promoção da conservação efetiva de pelos menos 30% do bioma Amazônia e de pelo menos 10% dos demais biomas, ecossistemas e habitats (Resolução CONABIO nº 3, de 21 de dezembro de 2006).

Os ecossistemas encontrados em afloramentos ferruginosos conhecidos como *cangas* estão entre os menos conhecidos e os mais ameaçados do Brasil, devido a sua distribuição restrita e associada aos principais depósitos de minério de ferro do país (Jacobi & Carmo, 2008a). O amplo espectro de ambientes descritos em *cangas* como cavernas,

lagoas, brejos, lajeados, fendas, poças e escarpas (Auler & Piló, 2005; Maurity & Kotschoubey, 2005; Jacobi *et al.*, 2007) favorece condições ecológicas que geralmente diferem da paisagem adjacente - ou matriz - que por sua vez, pode ser constituída por fitofisionomias florestais, campestres, arbustivas ou savânicas, *sensu* Oliveira-Filho (2009).

Cangas: Contexto Geoeconômico

As cangas estão geneticamente associadas aos litotipos ricos em ferro (Castro, 2008), sendo os principais tipos denominados como formações ferríferas bandadas - FFB. Estas formações ferríferas são únicas quando se consideram os processos de formação e as potencialidades minerais (Piacentini *et al.*, 2007), constituindo as maiores reservas de minério de ferro do mundo (Walde, 1986). O Brasil contém uma das maiores ocorrências de FFB do planeta (Figura 1) o que por sua vez, representa a quinta maior reserva mundial de minério de ferro, estimadas em $2,6 \times 10^{10}$ t. Três estados concentram mais de 98% das reservas conhecidas: Minas Gerais com 63,1%, Pará com 18% e Mato Grosso do Sul com 17,2% (Klein, 2005; DNPM, 2008).

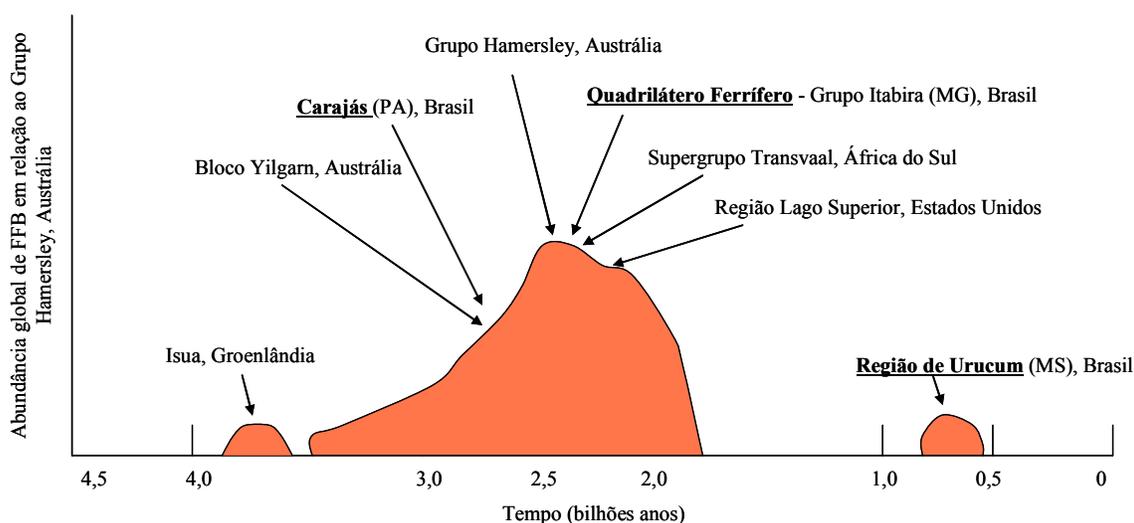


Figura 1 – Abundância relativa global de formações ferríferas bandadas em relação ao volume da maior ocorrência conhecida: Grupo Hamersley, Austrália. (Adaptado de Klein, 2005).

De acordo com Castro (2008) o significado geológico mais preciso do termo canga foi estabelecido por Dorr (1964). Tradução de Castro (2008):

“...uma rocha formada por material detrítico derivado de itabiritos e hematitas, cimentado por limonita. Ela é moderadamente dura, bem consolidada, levemente permeável e muito resistente à erosão e ao intemperismo químico. A canga forma extensos depósitos em ou próximo de superfícies erosivas atuais ou antigas.”

As cangas constituem uma couraça que recobrem insularmente (Figura 2) as FFB e, por conseguinte, os depósitos de minério de ferro das maiores províncias minerais do país. Estas províncias, em ordem de importância, estão localizadas no Quadrilátero Ferrífero, MG (Dorr, 1969; Rosière & Chemale Jr., 2000a); na Serra de Carajás, PA (Lindenmayer *et al.*, 2001; Klein & Ladeira, 2002); e na Morraria de Urucum, MS (Haralyi & Walde, 1986; Urban *et al.*, 1992).



Figura 2 – Canga com aspecto de “ilha ferruginosa” (altitude: 1.400 m) localizada no P.E. Serra do Rola Moça, Quadrilátero Ferrífero, MG.

A produção brasileira de minério de ferro, segundo Santos (1973), dividi-se em quatro períodos: ‘Experimental’ até meados da década de 1930; ‘Inicial’ de 1935 até 1947; ‘Exportação Regular’ no período entre 1948 até 1953; ‘Exportação em Larga Escala’ de 1960 até o presente. Nos últimos anos, a trajetória da produção brasileira demonstra um crescimento logarítmico ($r^2=0,86$) sem precedentes (Figura 3).

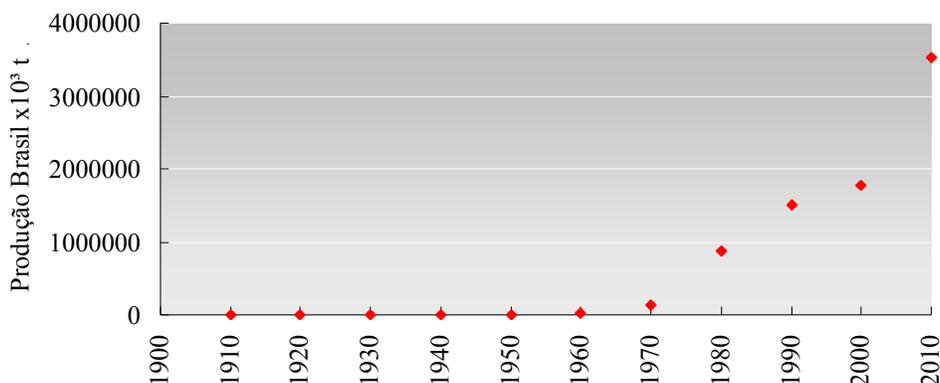


Figura 3 – Produção brasileira de minério de ferro. Fonte: Santos (1973); Alecrim (1982); IBRAM (2008; 2009); DNPM (2004; 2006; 2007; 2008).

Em 2008 o Brasil exportou bens primários de ferro na ordem de US\$ 16 bilhões, contribuindo com uma parcela considerável para o PIB nacional. De fato, o Brasil é o segundo maior produtor mundial de minério de ferro, produzindo em 2008 cerca de 370 milhões de toneladas. Dois estados foram responsáveis por 97% dessa produção, Minas Gerais com 71% e Pará com 26% (IBRAM, 2008). O Quadrilátero Ferrífero, o maior produtor brasileiro, concentra 76 % das minas de ferro (44 das 58 minas registradas no Brasil), seguido pela região de Urucum com 8,6% (cinco minas) e a Serra de Carajás com uma mina (1,7%) (DNPM, 2007).

A forma de extração do minério de ferro, com a remoção das camadas superficiais do substrato, acarretando na completa destruição da paisagem no local da jazida explorada (Toy *et al.*, 2001; Toy & Griffith, 2001) e o crescimento nos últimos anos da produção brasileira em resposta ao aumento da demanda internacional por este commodity sinalizam as pressões geoeconômicas nos ambientes de cangas.

Cangas: Patrimônio Paleoambiental, Histórico e Arqueológico

As cangas constituem um relevante patrimônio geológico da história da evolução da paisagem, sendo consideradas paleossolos indicadores de mudanças paleoclimáticas (Ruchkys, 2008). Vários naturalistas que trabalharam na região do Quadrilátero durante o séc XIX, entre eles Richard Burton, Peter Claussen, Marianne North, Johann M. Rugendas, Pierre Aimé Pissis e Augustin François C. P. de Saint-Hilaire destacaram, de uma forma ou de outra, a singularidade dos ambientes formados pelas cangas,

pelos itabiritos (formações ferríferas bandadas) e a vegetação associada. Por volta de 1818 Karl Friedrich Philipp von Martius, naturalista alemão e um dos editores da monumental obra botânica *Flora brasiliensis*, realizou interessantes observações geobotânicas, associando a presença de algumas espécies com as formações ferruginosas localizadas na Serra de Antônio Pereira, região entre Ouro Preto e Mariana (Spix & Martius, 1824).

O Pico do Itabirito (Figura 4), ou Pico do Itabira como era conhecido na época, e a Serra da Piedade (Figura 5) constituem exemplos de estruturas geológicas compostas principalmente pelas cangas e por formações ferríferas bandadas que foram retratados em pinturas e litografias que ilustram obras científicas e literárias conhecidas mundialmente.

Uma das descrições mais interessantes dessas estruturas partiu do naturalista dinamarquês e um dos fundadores da Ecologia Vegetal (Klein, 2002) Johannes Eugenius Büllow Warming. Em 1864 ao se aproximar da Serra da Piedade, chamada por ele de montanha de ferro, Eugenius Warming declarou (Gomes *et al.*, 2006):

“Era um maciço de ferro quase puro: ao arrancar a golpes um pedaço de um dos blocos espalhados por todos os lados, via-se que a rocha era pesada e com a sonoridade e o brilho do ferro. Os blocos tinham tamanhos variados, alguns de dimensões gigantescas. Era um ambiente totalmente novo e surpreendente, tanto na sua totalidade como nas particularidades. A natureza que eu havia observado nas montanhas de granito e nas florestas virgens do Brasil – como nas redondezas do Rio de Janeiro ou na Serra dos Órgãos – não se parecia em nada com a que agora se apresentava. Evidentemente a paisagem do campo, onde não se vê qualquer bloco de pedra solta, era menos parecida ainda.”

Tanto a Serra da Piedade quanto o Pico do Itabirito foram tombados pelo Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico (IEPHA-MG) e ambos compõem um conjunto de sítios geológicos reconhecidos pela Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (Rosière *et al.*, 2005; Ruchkys *et al.*, 2007). Os sítios geológicos constituem excepcionais ocorrências geológicas que registram a origem e evolução da Terra naqueles locais (Winge, 1999). Um terceiro sítio geológico e paleontológico associado às cangas está localizado no extremo leste do Quadrilátero, na região conhecida por Chapada de Canga. Nesta localidade, as cangas recobrem um importante registro fossilífero de plantas do Terciário brasileiro, onde um dos primeiros registros de uma flor fóssil no Cenozóico do Brasil foi descoberto naquela região (Mello *et al.*, 2002).



Figura 4 – Pico do Itabirito, município de Itabirito, em duas representações.

No alto, desenho de F.J. Stephan, (1840).

Disponível em: <http://florabrasiliensis.cria.org.br/opus?vol=1>.

Embaixo, desenho de Marianne North (1873).

Disponível em: <http://kew.org/mng/gallery/>.

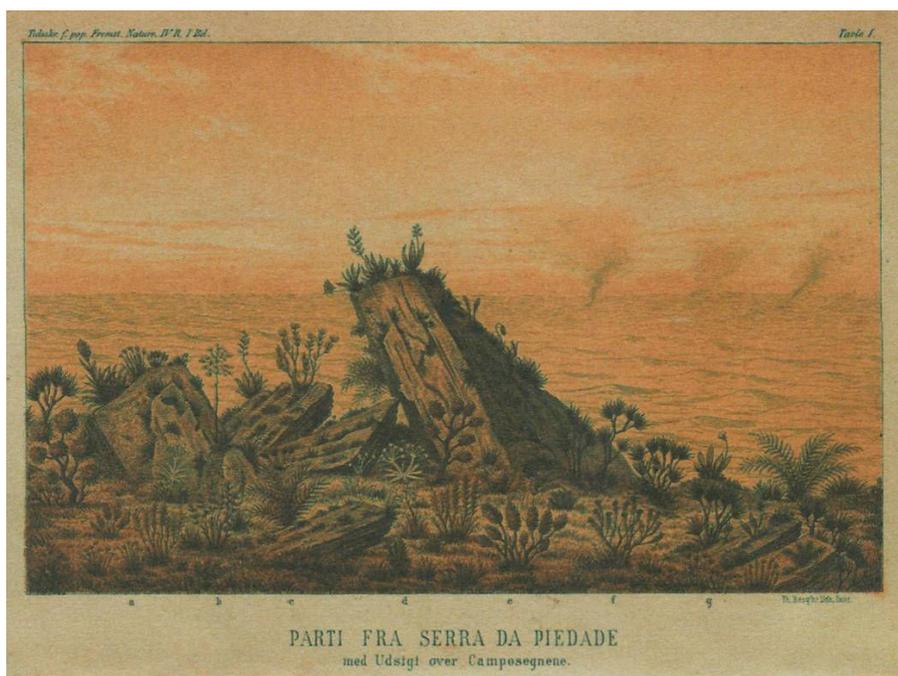


Figura 5 – A Serra da Piedade, entre os municípios de Caeté e Sabará, em duas representações. No alto, a S. Piedade vista a partir da localidade de Gongo Soco, desenho de Marianne North (1873), disponível em <http://kew.org/mng/gallery/>. Embaixo, detalhe da vegetação rupícola crescendo sobre os blocos de itabirito - formações ferríferas bandadas. Ilustração de um artigo de Eugenius Warming publicado em 1869. Adaptado de Gomes (2006).

Um sítio geológico e paleoambiental associado às cangas e às formações ferríferas bandadas foi identificado próximo de Corumbá, MS. Este sítio, denominado Morraria de Urucum, integra uma lista de sítios com propostas para serem transformados em Patrimônio da Humanidade em função da importância do registro geológico que representam (Boggiani & Coimbra, 2002). Nesta mesma região ocorrem sítios arqueológicos contendo vários petróglifos (Figura 6), ou seja, gravuras desenhadas na couraça ferruginosa (Girelli, 1994).

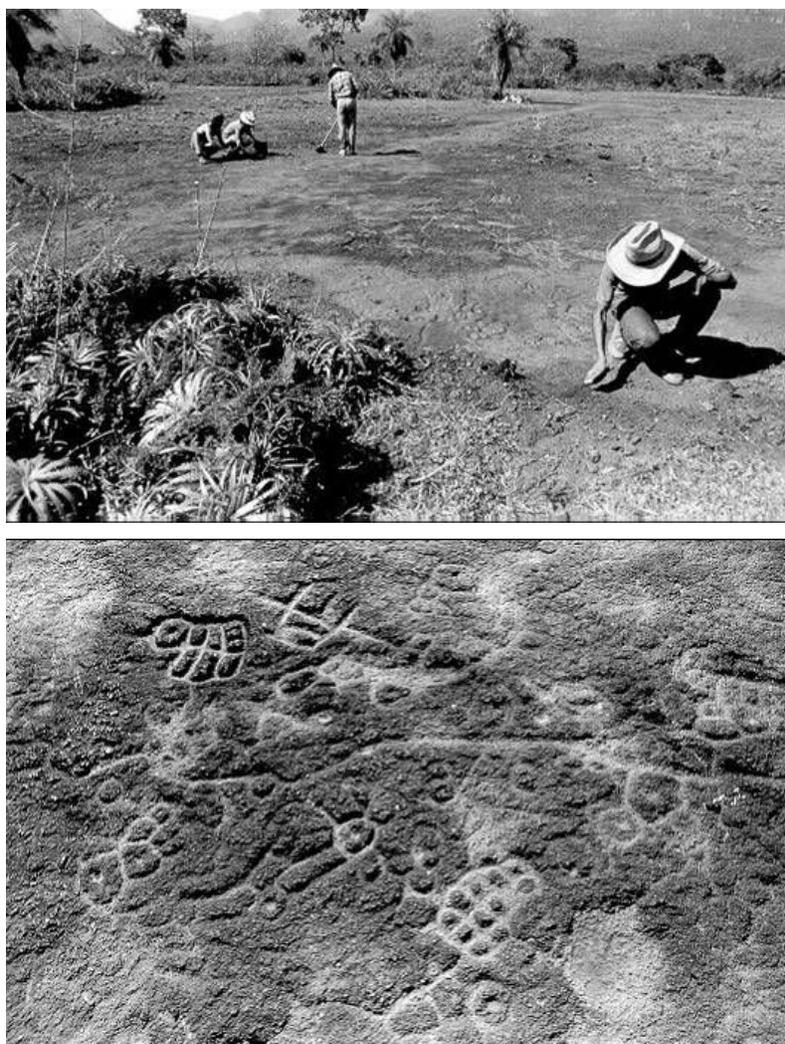


Figura 6 – Sítio arqueológico localizado em cangas da região de Urucum, MS. Detalhe dos petróglifos (Girelli, 1994).

Sítios arqueológicos associados às cangas também ocorrem no Quadrilátero e na Serra de Carajás, PA. No Quadrilátero os primeiros registros arqueológicos em cavernas ferruginosas foram recentemente descobertos em dois sítios localizados na mina de ferro Capão Xavier, em Nova Lima. Naqueles sítios foram encontrados artefatos cerâmicos e líticos, registrando uma ocupação humana há pelo menos 1.500 anos antes do presente. Embora preliminares, os registros de ocupação humana em áreas de cangas no Quadrilátero representam um relevante patrimônio histórico e arqueológico no estado de Minas Gerais (Baeta & Piló, 2005; Piló & Baeta, 2007).

Nas cavernas ferruginosas localizadas na Serra de Carajás foram encontrados registros arqueológicos evidenciando a presença humana há pelo menos 9.000 anos atrás. As evidências arqueológicas mais importantes foram descobertas nas Grutas do Gavião e do Pequiá, ambas localizadas na Serra Norte, distrito ferrífero de Carajás (Magalhães, 2006).

Cangas no Quadrilátero Ferrífero: Contexto Ambiental

Vegetação

Em Minas Gerais, o Quadrilátero Ferrífero foi reconhecido como uma ‘área de importância biológica especial’ devido à presença dos “campos ferruginosos” – uma das denominações para a fisionomia vegetal mais representativa que ocorre nas cangas – e a presença de espécies endêmicas e ameaçadas (Drummond *et al.*, 2005).

Mesmo a incipiente literatura que trata da vegetação associada aos afloramentos ferruginosos no Quadrilátero já indica elevadas diversidades alfa e beta. As espécies estão distribuídas entre diversos ambientes (Figura 7) e fitofisionomias, *sensu* Oliveira-Filho (2009), como: fisionomias florestais, arbustivas, savânicas e campestres (Vincent, 2004; Jacobi *et al.*, 2007; Mourão & Stehmann, 2007; Viana & Lombardi, 2007), onde predominam os campos rupestres sobre canga, ou “campos ferruginosos”.

Em levantamentos florísticos realizados em quatro afloramentos de cangas, cujas áreas disjuntas totais foram menores que 300 ha, foram identificados 86 famílias, 250 gêneros e 458 espécies de plantas vasculares. Apenas 5% das espécies ocorreram em todas as cangas amostradas, caracterizando uma baixa similaridade florística entre as localidades (Jacobi & Carmo, 2008b).



Figura 7 – Heterogeneidade ambiental e as diversas fisionomias vegetais encontradas em cangas no Quadrilátero Ferrífero. A) Extensos lajeados localizados na Chapada de Canga (Catas Altas) e as ilhas de vegetação formadas por *Vellozia* sp.; B) Vegetação rupestre em cangas localizadas na Serra de Capanema (Ouro Preto); C) Vegetação rupestre localizada na Serra da Brígida (Ouro Preto); D) Lagoa localizada em Catas Altas; E) Escarpa com cerca de 20 m de altura localizada no P.E. Serra do Rola Moça (Nova Lima); F) Capão de altitude localizado na Serra da Moeda (Moeda). Fotos: Flávio Fonseca

Vários trabalhos reconhecem a importância das áreas metalíferas para a conservação da diversidade biológica. Estas regiões caracterizam-se por conter altas concentrações de metais pesados no solo/substrato, sendo consideradas centros de endemismo e especiação de plantas metalófitas (Whiting *et al.*, 2002; Ginocchio & Baker, 2004; Whiting *et al.*, 2004).

No Quadrilátero já foram identificadas algumas espécies metalófitas (*sensu* Whiting *et al.*, 2004) como as Asteraceae *Eremanthus erythropappus* (DC.) N.F.F. MacLeish e *E. glomerulatus* Less., e as Melastomataceae *Microlicia crenulata* Mart. e *Trembleya laniflora* Cogn., que acumularam nos tecidos foliares concentrações de Cu, Fe, Mn, e Zn maiores que as disponíveis no substrato (Teixeira & Lemos-Filho, 1998).

Sistemas Subterrâneos

As localidades onde ocorrem as formações ferríferas, incluindo as cangas, no território brasileiro são consideradas pelo Centro Nacional de Estudos, Proteção e Manejo de Cavernas – CECAV (2008) regiões com uma potencialidade muito alta, maior que 90%, de ocorrer cavernas. Estimam-se em torno de 1.500 cavernas associadas aquelas formações, com cerca de 250 cavernas catalogadas no Quadrilátero e centenas de cavernas ocorrendo na Serra de Carajás, todas localizadas em áreas-alvo de mineração (Auler, 2006).

Os sistemas subterrâneos – cavernas ferruginosas – associados às cangas localizadas no Quadrilátero Ferrífero abrigam uma comunidade de invertebrados com uma extrema complexidade estrutural, elevada diversidade de organismos troglomórficos – com várias ocorrências de espécies novas para a ciência – e elevada diversidade beta. As espécies troglomórficas representam grande relevância em função de sua história evolutiva e distribuição restrita (Ferreira, 2005; 2008; Silva, 2008).

Silva (2008), estudando a fauna de invertebrados em cavernas no Domínio da Mata Atlântica (103 cavernas em litologias carbonáticas, magmáticas, siliclásticas e ferruginosas localizadas nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo) concluiu que as cavernas ferruginosas, quando comparadas com as cavernas de outras litologias, apresentaram características singulares quanto à biodiversidade

funcionalidade trófica e vulnerabilidade, sendo que a maior riqueza de espécies troglomórficas (68 spp.) foi catalogada em cavernas ferruginosas no Quadrilátero.

Serviços do Ecossistema: Recursos Hídricos

Constanza *et al.* (1997) estimaram em cerca de US\$ 33 trilhões ao ano o valor monetário mundial corrente do capital natural, ou recursos naturais, calculado a partir de 17 tipos de serviços dos ecossistemas naturais. Em outras palavras, estimaram a valor monetário que a humanidade ‘deveria’ pagar por serviços vitais como a polinização, a regulação climática e o suprimento de água.

No Quadrilátero Ferrífero, as formações ferríferas bandadas e as rochas carbonáticas da Formação Gandarela constituem o principal sistema de aquíferos da região. Os sinclinais¹ Moeda, Gandarela e a Serra do Curral compõem as áreas mais favoráveis à exploração de água subterrânea (IBRAM, 2003). As reservas exploráveis contidas no Quadrilátero foram estimadas em 5×10^9 m³, onde 80% deste montante (4×10^9 m³) estão associados as formações ferríferas (Silva *et al.*, 1994 *apud* IBRAM, 2003).

As cangas, devido a sua localização nos platôs topográficos, sua porosidade e permeabilidade, funcionam como conexão daqueles aquíferos, constituindo importantes áreas de recarga hídrica (Lazarim, 1999 *apud* IBRAM, 2003; Castro, 2008).

Planejamento para a Conservação da Biodiversidade e Definição de Prioridades

A degradação e a perda de habitats podem alterar sobremaneira os processos ecossistêmicos. Desta forma, o colapso dos sistemas ecológicos pode acontecer em um momento anterior ao da extinção de espécies (Woodwell, 2002).

Esse fenômeno deve ser considerado no planejamento para a conservação da diversidade biológica, pois os esforços para a manutenção de espécies ou populações podem

¹Os sinclinais são megaestruturas geológicas e resultam de processos de dobramentos das formações constituintes em que as camadas de material geológico mais recente encontram-se no núcleo daquela estrutura (Winge *et al.*, 2001).

não ser efetivos quando o ecossistema estiver sincronicamente sendo convertido (Jennings, 2000). Esta mudança na perspectiva, focando nos habitats e em suas principais ameaças, pode gerar benefícios não só para a conservação das próprias espécies como também para a sociedade, garantindo a manutenção dos serviços e funções dos ecossistemas (Hoekstra *et al.*, 2005).

As áreas protegidas são mundialmente reconhecidas como uma das ferramentas mais eficazes para a conservação e proteção da biodiversidade, dos serviços ambientais e dos processos ecossistêmicos (Hockings, 2003; Rodrigues *et al.*, 2004). Entretanto, em um país como o Brasil, portador de uma miríade de ecossistemas e habitats, tanto o conhecimento sobre a diversidade biológica, quanto os tipos e intensidades de ameaças aos ambientes naturais mostram-se bastante heterogêneos (Brandon *et al.*, 2005).

No Brasil recentemente foram adotados métodos do planejamento sistemático da conservação e do diagnóstico ecorregional como subsídios para a indicação de áreas prioritárias para a conservação da diversidade biológica (Rylands & Brandon, 2005; Dias *et al.*, 2006; MMA, 2008). O planejamento sistemático da conservação compõe uma importante ferramenta na identificação de áreas com alto valor para a conservação baseado em um conjunto de dados bióticos e abióticos e em princípios como a representatividade, a vulnerabilidade, a complementaridade e a insubstituibilidade (Pressey *et al.*, 1994; Margules & Pressey, 2000). O diagnóstico ecorregional (Dinerstein *et al.*, 1995) incorpora nas análises a diversidade de habitats, a perda e a degradação ambiental e a vulnerabilidade como estimativas da capacidade que uma determinada região mantenha populações viáveis de espécies, sustente processos ecossistêmicos e responda a alterações ambientais.

Alguns conceitos que alicerçam estes métodos foram empregados no presente trabalho com as seguintes conotações:

- **Indicadores da biodiversidade** (*surrogates*): unidades ambientais que pressupõem diversidade biológica, por exemplo, certos fenômenos geomorfológicos, bacias hidrográficas ou interflúvios (MMA, 2008).
- **Objeto de conservação**: constituintes da biodiversidade (espécies, populações, comunidades, ecossistemas ou habitats) de interesse para a conservação e que ocorrem em áreas geográficas definidas espacialmente (MMA, 2008).

- **Complementaridade:** inclusão de novas áreas protegidas ao sistema de unidades de conservação com o objetivo de otimizar o número de objetos de conservação (espécies ou ecossistemas, por exemplo).
- **Vulnerabilidade** (*vulnerability*): medida da probabilidade ou iminência de perda da biodiversidade (Pressey & Taffs, 2001).
- **Insubstituibilidade** (*irreplaceability*): contribuição potencial de uma determinada área para a representatividade dos objetos de conservação (Pressey & Taffs, 2001). Indica áreas com altos níveis de endemismos (Rodrigues *et al.*, 2004), ou espécies raras (Rapini *et al.*, 2009).

O Quadrilátero Ferrífero caracteriza-se pela elevada geodiversidade e por uma complexa evolução geocológica da paisagem (Ruchkys *et al.*, 2007; Castro, 2008), fatores estes que favorecem o desenvolvimento e a manutenção da biodiversidade (Martins, 2000; Gray, 2005), o que leva à necessidade de refinar a escala da análise para que medidas adequadas de proteção e de distribuição de recursos atinjam um “alvo” caracterizado pela convergência geográfica com áreas de mineração, pela disjunção e pela reduzida extensão geográfica de um ambiente específico: as cangas.

A partir deste ponto o termo *canga* terá um significado holístico, ou seja, representará simultaneamente os fatores abióticos, bióticos, culturais e econômicos que nela se associam. Por caracterizar-se como uma unidade discreta na paisagem relativamente fácil de mensurar e constituindo um arcabouço onde acontecem os processos ecológicos e evolutivos que resultaram nas atuais comunidades naturais, os afloramentos de cangas, e não as espécies ou populações nelas contidas foram os objetos de conservação avaliados. Portanto, o presente trabalho versa sobre as seguintes questões:

1. As cangas abrigam ecossistemas e serviços ambientais com alto valor para a conservação?
2. Qual o estado de conservação das cangas no Quadrilátero Ferrífero?
3. Qual o grau de vulnerabilidade e a representatividade das cangas no sistema de áreas protegidas de Minas Gerais?

2 – OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo foi analisar a importância ambiental das cangas, a vulnerabilidade e a representatividade no sistema de áreas protegidas em Minas Gerais. Os objetivos específicos foram:

- Estimar o valor de conservação das cangas a partir de dois atributos: raridade e endemismo e a valoração dos serviços ambientais de recursos hídricos;
- Avaliar o estado de conservação das cangas no Quadrilátero Ferrífero com diferentes métodos e em diferentes escalas espaciais e, posteriormente, propor áreas prioritárias para a manutenção das cangas na região;
- Propor áreas prioritárias para a conservação das cangas em Minas Gerais utilizando o método da análise de lacunas;
- Propor medidas específicas com os objetivos de redução das ameaças e otimização da representatividade das cangas no sistema de áreas protegidas.

3 – MÉTODO

Local de Estudo

O Quadrilátero Ferrífero (QF), abrangendo uma área de aproximadamente 7.200 km² localiza-se na região central de Minas Gerais. Em termos geográficos (Gontijo, 2008) o QF integra o setor sul da Cadeia do Espinhaço (Figura 8), uma das regiões brasileiras de maior diversidade biológica e relevância de endemismos em vários grupos como plantas (Giulietti *et al.*, 1997; Rapini *et al.*, 2008), anfíbios (Eterovick, 2003; Leite *et al.*, 2008) e aves (Silva & Bates, 2002; Vasconcelos *et al.*, 2008). Inserido na zona de transição entre a Mata Atlântica e o Cerrado, dois *hotspots* mundiais de biodiversidade (Myers *et al.*, 2000), o QF representa uma das paisagens mais singulares do Brasil (Dorr, 1969; Varajão, 1991; Ruchkys *et al.*, 2007), concentrando em uma pequena extensão geográfica riquezas geológicas, minerais, históricas e biológicas incomuns no país.

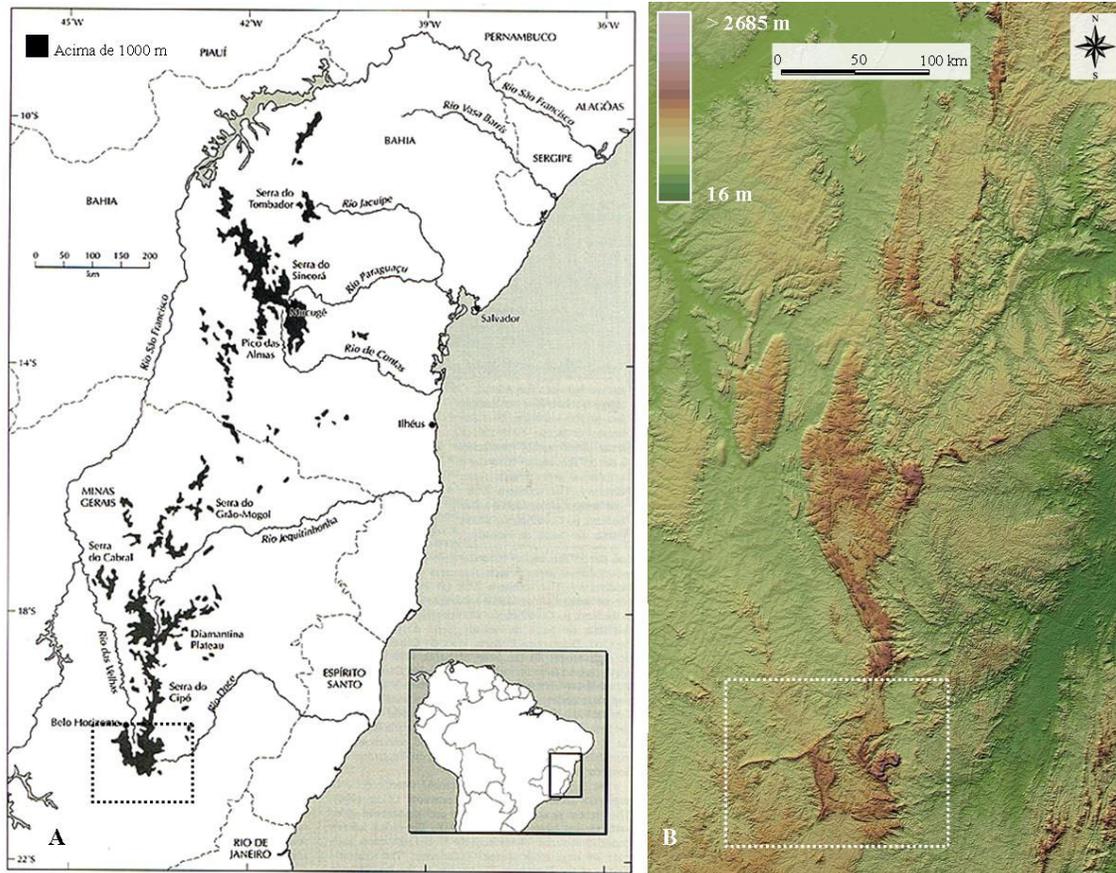


Figura 8 – A) A Cadeia do Espinhaço e em destaque o Quadrilátero Ferrífero, MG. Adaptado de Giulietti *et al.* (1997); B) Mapa do relevo do setor mineiro da Cadeia do Espinhaço e em destaque o Quadrilátero Ferrífero. Adaptado de Miranda (2005).

No Quadrilátero, seqüências geológicas de idades variadas afloram lado a lado, onde a maioria dessas seqüências pode ser agrupada em quatro unidades litoestratigráficas (Figura 9) principais (Alkmim & Marshak, 1998; IBRAM, 2003; Baltazar *et al.*, 2005):

- **Embasamento Cristalino:** predominam rochas granito-gnáissicas arqueanas. Apresenta um relevo ondulado, domínio morfoclimático (*sensu* Ab'Saber, 2005) conhecido como “Mar de Morros”, geralmente com altitudes entre 600 m a 900 m.
- **Supergrupo Rio das Velhas:** formado por rochas metavulcânicas e metassedimentares arqueanas. Apresenta um relevo dissecado, geralmente, com altitudes entre 700 m a 1.200 m.

- **Supergrupo Minas:** formado principalmente por metassedimentos clásticos e químicos proterozóicos. Apresenta um relevo invertido, geralmente com altitudes entre 1.000 m a 2.072 m. Contém uma das maiores reservas de minério de ferro do mundo associadas às formações ferríferas bandadas e as cangas.
- **Grupo Itacolomi:** predominam os quartzitos e os filitos proterozóicos.

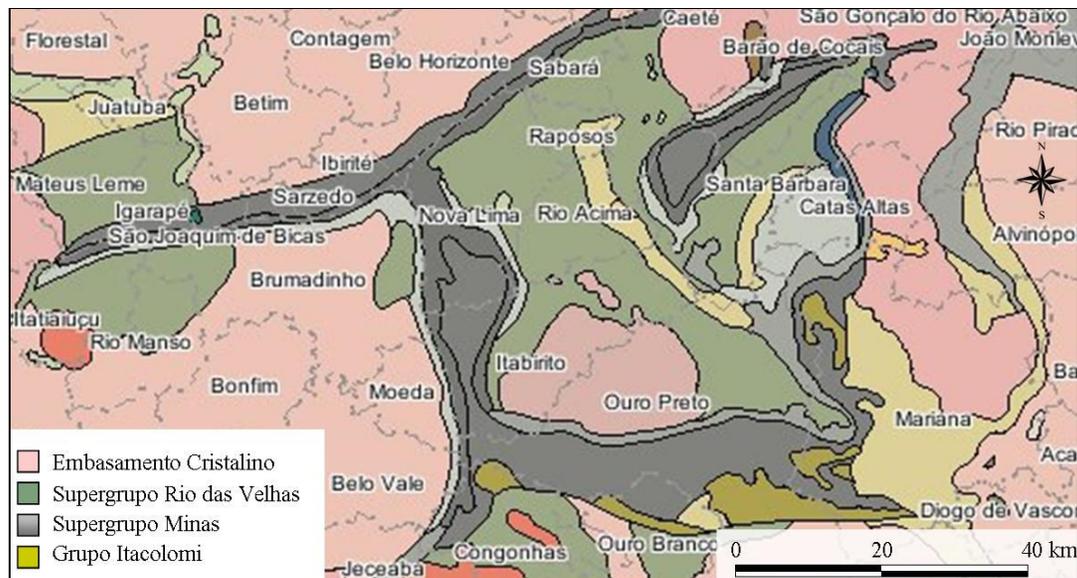


Figura 9 – Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero e limites dos municípios. Adaptado de SIAM (2009). Disponível em: www.siam.mg.gov.br/webgis/mineracao.

As cangas podem ser agrupadas, quanto ao processo e ao período geológico de formação e a composição mineral, em três tipos (Dorr, 1969; Baltazar *et al.*, 2005):

1. **Canga normal (Paleogeno):** depósitos elúvio-coluviais, constituindo capeamentos limoníticos (constituídos por óxidos de ferro hidratados) contendo entre 20% e 80% de fragmentos detríticos de hematita ou itabirito e podendo conter entre 50% e 64% de ferro.
2. **Canga rica (Paleogeno):** depósitos elúvio-coluviais, constituindo capeamentos limoníticos com alto teor de hematita. Contém concentrações de ferro acima de 60%.

3. **Canga química (Plio-Pleistoceno):** coberturas constituídas por poucos materiais detríticos e altamente limonitizadas.

Entre os fatores que influenciam a formação das cangas no Quadrilátero, estão à localização topográfica, a composição e a estrutura mineralógica dos itabiritos – formações ferríferas bandadas (Castro, 2008). Os itabiritos, por sua vez, podem ser agrupados em três tipos, de acordo com os principais componentes mineralógicos: itabirito comum, formado por bandas de quartzo e óxidos de ferro; itabirito anfibolítico, formados por anfibólios e óxidos de ferro; e itabirito dolomítico, formado por dolomita ferroana, quartzo e óxidos de ferro (Rosière & Chemale, 2000b).

Os solos desenvolvidos sobre as cangas do Quadrilátero refletem a diversidade geoambiental das áreas ferríferas, sendo considerados solos endêmicos (Schaefer *et al.*, 2008). Desta forma, pode-se considerar que as cangas compõem um sistema geocológico (*sensu* Huggett, 1995) metalífero, recobrimo insularmente uma matriz geológica predominantemente constituída por litotipos também ricos em ferro.

O Quadrilátero Ferrífero está contido nas bacias federais dos Rios Doce e São Francisco. A bacia do Rio Doce é composta regionalmente pela bacia do Rio Piracicaba (leste do QF) e a bacia do São Francisco é composta pelas bacias dos Rios das Velhas (centro do QF) e do Paraopeba (oeste do QF) (Davis *et al.*, 2004).

O clima subtropical de altitude - segundo a classificação de Köppen - caracterizado pelo inverno seco e verão chuvoso, predomina na região. A média do mês mais frio geralmente não alcança os 18 °C e a do mês mais quente não atinge os 22 °C (Antunes, 1986). No setor leste do Quadrilátero ocorrem os maiores índices pluviométricos, onde a Serra do Caraça apresenta uma média anual de 2.035 mm (Davis *et al.*, 2004). As menores médias anuais ocorrem no extremo oeste do Quadrilátero, com 1.272 mm mensurados para a região de Igarapé (ALMG, 2009).

Diversas fitofisionomias ocorrem no QF tais como a floresta estacional semidecidual, as matas de galeria, os capões de altitude, o campo sujo, o campo cerrado e os campos

rupestres integrando um mosaico em função da geodiversidade, tipos de solos, gradientes altitudinais e climatológicos (Brandão *et al.*, 1991; Meyr *et al.*, 2004; Spósito & Stehmann, 2006; Viana & Lombardi, 2007; Jacobi & Carmo, 2008c; Vincent & Meguro, 2008).

A origem do topônimo ‘Quadrilátero Ferrífero’ permanece incerta. Segundo Machado (2009) o termo provavelmente foi cunhado em 1933 pelo geólogo Luiz F. M. Rego e estabelecido na literatura a partir dos trabalhos geológicos desenvolvidos por John V.N. Dorr II e colaboradores durante as décadas de 1950 e 1960. Provavelmente o Quadrilátero recebeu esta denominação devido ao arranjo poligonal de suas principais macroestruturas (Rosière & Chemale Jr., 2000b) e as megajazidas de minério de ferro que as compõem (Figura 10).

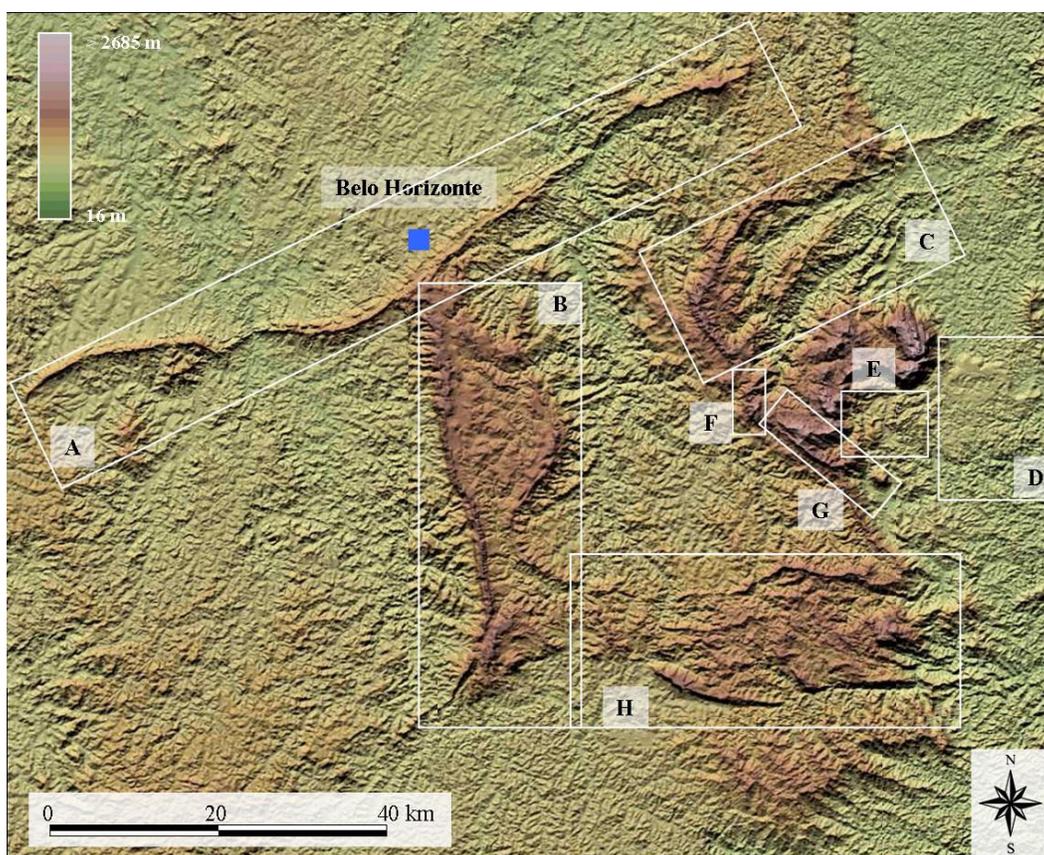


Figura 10 – Relevo do Quadrilátero Ferrífero (adaptado de Miranda, 2005) e as principais estruturas geológicas (Endo *et al.*, 1991). **A:** Serra do Curral; **B:** Sinclinal Moeda; **C:** Sinclinal Gandarela; **D:** Chapada de Canga*; **E:** Sinclinal Alegria; **F:** Sinclinal Ouro Fino; **G:** Sinclinal Conta História; **H:** Sinclinal Dom Bosco.

*A Formação Chapada de Canga representa uma unidade estratigráfica (Sant’Anna & Schorsch, 1997).

3.1 – As cangas constituem áreas com alto valor para a conservação ambiental?

Dois importantes atributos foram avaliados para a caracterização ambiental das cangas como áreas de alto valor para a conservação, um atributo biótico: raridade e endemismos de plantas; e um atributo físico: recursos hídricos.

Raridade e Endemismo de plantas

A contribuição potencial de uma dada localidade para a conservação da biodiversidade em virtude de suas características singulares, constitui uma importância fundamental para mensurar o valor de conservação daquela área (Pressey *et al.*, 1994). Atributos como endemismo e raridade também são utilizados para mensurar o valor de conservação de uma determinada localidade (Rodrigues *et al.* 2004). Assim, uma das estratégias para a localização de áreas biologicamente insubstituíveis consiste em detectar localidades que contenham espécies raras (Callamander *et al.*, 2005).

Recentemente foi publicado um catálogo de plantas raras do Brasil (Giulietti *et al.*, 2009) contendo 2.291 espécies (definidas por ocorrem em áreas menores do que 10.000 km²) distribuídas entre 752 áreas de importância global para a manutenção da diversidade biológica. Estas áreas foram denominadas como Áreas-Chave para a Biodiversidade – ACBs (em inglês, KBA: Key Biodiversity Areas; Eken *et al.*, 2004).

Uma lista de plantas vasculares de alto valor para a conservação que ocorrem no Quadrilátero Ferrífero foi produzida a partir da compilação do catálogo de plantas raras do Brasil, de listas estaduais e federais de espécies ameaçadas e de trabalhos sobre a distribuição e taxonomia de plantas que ocorrem em cangas ou na região do Quadrilátero Ferrífero (Rapini, 2000; 2002; Leme & Paula, 2004; Atkins, 2005; Salino & Almeida, 2008; Versieux *et al.* 2008; Viana, 2008).

Serviços do Ecossistema: Recursos Hídricos

Com o objetivo de contribuir com reflexões no âmbito socio-ambiental sobre a necessidade da conservação da biodiversidade e sobre as prioridades de manutenção do capital natural, realizou-se um esboço inicial para estimar o valor monetário do serviço ambiental ‘recursos hídricos’ das formações ferríferas bandadas e das cangas associadas a partir de duas situações:

- 1) Cálculo do valor monetário anual baseado em estimativas da vazão específica;
- 2) Cálculo do valor monetário baseado em estimativas das reservas explotáveis.

Os cálculos foram realizados a partir de estudos apresentados no trabalho *Contribuição do IBRAM para o zoneamento ecológico-econômico e o planejamento ambiental de municípios integrantes da APA-SUL RMBH* (IBRAM, 2003). Ainda, para cada situação foram utilizados dois fatores de valoração monetária: a) o valor pago pelo consumidor final residencial de 1 litro de água captada em mananciais localizados no Quadrilátero Ferrífero; b) o valor pago no varejo por um litro de água mineral sem gás produzido no Quadrilátero Ferrífero.

- 1) Valor monetário anual do serviço ambiental ‘recursos hídricos’ baseado nas estimativas da vazão específica das formações ferríferas bandadas (FFB). Foi calculado pela equação:

$$A = B \times C \times D \times E$$

A = Valor anual estimado para o serviço ambiental ‘recursos hídricos’

B = Média da vazão específica* mínima das FFB = 17,5 l/s/km²

C = Área total estimada das FFB no Quadrilátero Ferrífero (Schaefer *et al.*, 2008) = 908 km²

D = 31.536.000 segundos (1 ano)

E¹ = Valor pago pelo consumo residencial de 1 litro de água captada em mananciais localizados no Quadrilátero Ferrífero = R\$ 0,0024 (calculado em outubro de 2009).

E² = Valor pago no varejo por 1 litro de água mineral sem gás produzida no Quadrilátero Ferrífero = R\$ 0,90 (em outubro de 2009).

*Vazão específica mínima média de estiagem em curso de água com nascentes naquela unidade hidroestratigráfica (Golder, 2001 *apud* IBRAM, 2003).

- 2) Valor monetário do serviço ambiental ‘recursos hídricos’ baseado nas estimativas das reservas explotáveis associadas às FFB. Foi calculado pela equação:

$$A = B \times C$$

A = Valor estimado para o serviço ambiental ‘recursos hídricos’

B = *Reserva explotável associada às FFB = 4 x 10⁹ m³ ou 4 x 10¹² litros

C¹ = Valor pago pelo consumo residencial de 1 litro de água captada em mananciais localizados no Quadrilátero Ferrífero = R\$ 0,0024 (calculado em outubro de 2009).

C^2 = Valor pago no varejo por 1 litro de água mineral sem gás produzido no Quadrilátero Ferrífero = R\$ 0,90 (em outubro de 2009).

*As reservas explotáveis contidas no Quadrilátero foram estimadas em 5×10^9 m³, onde 80 % deste montante (4×10^9 m³) estão associados as formações ferríferas (Silva *et al.*, 1994 *apud* IBRAM, 2003).

3.2 – Avaliação do estado de conservação dos ecossistemas de cangas no Quadrilátero Ferrífero

Foram adaptados conceitos e métodos do trabalho de Dinerstein *et al.* (1995) nos quais as entidades geográficas proveram dados quantitativos sobre o sistema ecológico e seu estado de conservação a partir da análise da estrutura da paisagem, área de ocorrência, perda e degradação de habitats e a vulnerabilidade. Aquele estudo representou um dos primeiros que utilizaram as categorias de ameaça baseadas nas Listas Vermelhas *sensu* IUCN para áreas geográficas

O estado de conservação dos ecossistemas de cangas foi avaliado com o uso de três métodos:

1. Análise espacial e elaboração de um índice de vulnerabilidade;
2. Elaboração e aplicação de um protocolo de avaliação ambiental;
3. Diagnóstico ecorregional.

Os resultados obtidos a partir da aplicação desses métodos permitiram classificar os afloramentos de cangas em categorias de ameaça baseadas nos critérios de elaboração das Listas Vermelhas da União Internacional para Conservação da Natureza – UICN (1994; 2001). Mundialmente reconhecidas como uma ferramenta para a definição do estado de ameaça de espécies e populações, as Listas Vermelhas podem, por exemplo, subsidiar políticas públicas ambientais e tomadas de decisão que tratam da utilização e conservação dos recursos naturais (Ginsburg, 2001; Callmander *et al.*, 2005).

3.2.1 – Análise espacial e elaboração de um índice de vulnerabilidade

Áreas de Referência

No período compreendido entre 1946 – 1964 o Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM – e o United States Geological Survey – USGS – firmaram um convênio que resultou no mapeamento geológico do Supergrupo Minas (unidade litoestratigráfica constituída pelas formações ferríferas bandadas e as cangas associadas), articulado em 47 quadrículas na escala 1:25.000 (Dorr, 1969). Este período coincide com o início da exportação brasileira de minério de ferro em larga escala (Figura 3), fenômeno associado à criação e desenvolvimento da Companhia Vale do Rio Doce – CVRD e a crescente demanda mundial por este minério (Santos, 1973).

A geodiversidade, o número de cangas e as áreas (coberturas superficiais) foram obtidos do Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero – Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa (Lobato *et al.*, 2005), que utilizou as quadrículas produzidas entre 1946-1964 como base cartográfica. Portanto, os números e as áreas de ocorrências das cangas obtidos nestes trabalhos geológicos foram considerados como números e áreas de referência para as análises espaciais e para a avaliação das alterações no espaço e no tempo. As denominações de localidades e as altitudes das cangas foram obtidas diretamente nas 47 quadrículas do projeto DNPM/USGS.

Áreas Atuais

A perda de hábitat, seus agentes causadores e as principais fontes de ameaça foram determinados para todas as cangas do **QF** a partir de imagens geradas entre 2002 e 2009 e disponibilizadas no programa *Google Earth Pro*, adaptando método desenvolvido por Beaudette & O’Geen (2009). A perda de hábitat foi estimada utilizando a ferramenta ‘Régua’ no programa *Google Earth Pro* e calculando a área do polígono formado pelos contornos das regiões destruídas na couraça ferruginosa. Concomitantemente foram identificados os agentes causadores daquela perda. Foram consideradas como perdas de hábitat apenas intervenções físicas no substrato ferruginoso, como remoção ou alteração da canga. Portanto a perda de hábitat mensurada constitui um dano irreversível.

Os mapas das áreas de referência e das áreas atuais das cangas foram produzidos com

o programa ArcExplorer 2.0 (Lobato *et al.*, 2005). Para o mapa das áreas atuais foram representadas todas as cangas com perdas de até 95% de sua área original. Os afloramentos com perdas de áreas maiores do que 96% foram considerados funcionalmente extintos.

Índice de Vulnerabilidade

A perda de hábitat e seu principal agente causador integraram um índice de vulnerabilidade elaborado para as cangas no Quadrilátero Ferrífero. A vulnerabilidade foi determinada a partir: 1) da perda de hábitat de um determinado afloramento e 2) da menor distância linear entre a borda daquele afloramento até a principal fonte de ameaça. Considerou-se como a principal fonte de ameaça o agente causador da maior perda de hábitat nas cangas. Mensurou-se a distância através do programa *Google Earth Pro*, utilizando a ferramenta 'Régua'. As cangas foram classificadas em quatro categorias de ameaça, adaptadas de IUCN (2001), de acordo com os seguintes critérios:

- **Quase Ameaçada:** perdas de hábitat menores que 4% e localizadas a distâncias lineares 'borda-a-borda' maiores que 2 km da fonte de ameaça.
- **Vulnerável:** perdas de hábitat menores que 4% e localizadas a distâncias lineares entre 1 e 2 km. Perdas de hábitat entre 5% e 30% e localizadas a distâncias lineares maiores do que 1 km da fonte de ameaça.
- **Em Perigo:** perdas de hábitat menores do que 30% e localizadas a distâncias lineares entre 0,5 e 1 km. Perdas de hábitat entre 31% e 60% e localizadas a distâncias lineares maiores que 0,5 km da fonte de ameaça.
- **Criticamente em Perigo:** perdas de hábitat maiores que 61%, independente da distância linear borda-a-borda. Cangas localizadas a distâncias lineares menores que 0,5 km da fonte de ameaça, independente da perda de hábitat.

A classificação em uma determinada categoria de ameaça que conteve pelo menos 60% da área total das cangas avaliadas foi extrapolada para todo o **QF**, ou seja, determinou a classificação para o conjunto de todas as cangas encontradas nesta localidade.

3.2.2 - Elaboração e aplicação de um protocolo de avaliação ambiental

A avaliação de estado de conservação das cangas foi realizada em duas etapas:

1. Aplicação, em campo, de um protocolo de avaliação ambiental;
2. Avaliação do grau de ameaça iminente.

A avaliação e a classificação individual de cangas foram realizadas a partir do método de pontuação - *scoring procedures* - (Dinerstein *et al.*, 1995; Durigan *et al.*, 2009) ou notas, o que basicamente representou um gradiente do estado atual de conservação mensurado a partir de observações no campo e em sistemas de informação geográfica (SIG).

Para esta avaliação foi elaborado um protocolo composto por 13 indicadores. Os indicadores foram agrupados em três itens: Grau de Ameaça, Grau de Proteção e Qualidade Ambiental (Tabela 1).

A pontuação final máxima do protocolo foi de 45 pontos. O item Grau de Ameaça pode atingir 31 pontos ou 69% da pontuação final do protocolo. O item Grau de proteção pode representar até 11% da pontuação do protocolo, ou cinco pontos. Finalmente, o item Qualidade Ambiental representa até 20% da pontuação final, ou nove pontos. A pontuação de cada indicador, bem como a pontuação total do protocolo seguiu uma escala que pretendeu refletir um gradiente de integridade ambiental das próprias cangas como também do seu entorno.

A pontuação final de uma determinada canga foi obtida somando-se os valores de todos os indicadores. Dessa forma, uma pontuação total igual à zero indica a melhor situação, ou seja, um afloramento com ausência de ameaças, localizado em uma unidade de conservação de proteção integral e com a melhor integridade ambiental. Por sua vez, uma canga com pontuação igual a 45 reflete uma situação bastante crítica, apresentando um grau máximo de ameaça, não localizada em unidade de conservação e com severas intervenções antrópicas na paisagem.

A pontuação dos indicadores foi atribuída de acordo com os seguintes critérios:

1. **Perda de hábitat:** principal fator relacionado à erosão da biodiversidade (Wilcox & Murphy, 1985; Novacek & Cleland, 2001). Nas cangas, a perda de hábitat foi recentemente intensificada devido a abertura econômica da China, gerando uma demanda mundial sem precedentes por minérios, fenômeno conhecido como “efeito China” (DNPM, 2004). Assim, este indicador teve uma nota máxima de cinco pontos.
2. **Distúrbios na canga:** a degradação ambiental, juntamente com a perda de hábitat, constituem as maiores ameaças a biodiversidade mundial (Wilcox & Murphy, 1985;

Novacek & Cleland, 2001). Foram observados os tipos de agentes causadores de distúrbios nas cangas, a saber, gado, trilha, lixo, construções, coleta predatória de espécies nativas. A pontuação máxima (três pontos) foi atingida quando três ou mais agentes estavam presentes.

3. **Fogo:** o comportamento de incêndios, como velocidade de propagação, temperaturas do solo e do ar, juntamente com a frequência tem uma grande influência sobre a composição atual da vegetação. O regime do fogo pode afetar processos demográficos como mortalidade, reprodução, germinação e sobrevivência de populações de plantas (Whelan, 1997). Incêndios de origem antrópica constituem uma das principais ameaças a integridade ambiental do Quadrilátero Ferrífero (Drummond *et al.*, 2005), portanto o fogo foi avaliado separadamente. Nos afloramentos foram estimadas as áreas queimadas a partir de indícios de incêndios em líquens, troncos e galhos (Jayalaxshmi, 1998; Safford, 2001). Nota máxima de três pontos.
4. **Plantas exóticas invasoras:** espécies exóticas invasoras são consideradas uma das maiores ameaças a biodiversidade (Wilcox & Murphy, 1985). No Quadrilátero as plantas exóticas invasoras são historicamente utilizadas na recuperação ambiental, principalmente de áreas degradadas pela mineração (Griffith & Toy, 2001). Nota máxima de três pontos.
5. **Distúrbios no entorno:** consideraram-se como agentes de distúrbios ambientais o fogo, o gado, plantas exóticas invasoras, trilha, lixo, coleta predatória de espécies nativas. Atribuiu-se a maior nota ao maior número de tipos desses agentes. O agente 'gado' foi definido como sendo uma criação extensiva em pequena escala (poucos indivíduos). Nota máxima de três pontos.
6. **Estradas:** uma característica da região é a grande densidade da malha rodoviária (Drummond *et al.*, 2005), podendo causar impactos negativos como atropelamento de fauna, contaminação biológica e fragmentação (Hels & Buchwald, 2001). Foram consideradas estradas não pavimentadas, rodovias e ferrovias. Nota máxima de três pontos.
7. **Agropecuária:** este indicador foi considerado por causar impactos ambientais negativos como a intervenção mecânica na paisagem para plantio de forrageiras e o uso de fertilizantes e defensivos químicos, por exemplo. Nota máxima de três pontos.

8. **Núcleos urbanos:** foram considerados como agentes causadores de impactos ambientais negativos as cidades, condomínios e indústrias, exceto mineração. Nota máxima de três pontos.
9. **Mineração:** o contexto geoeconômico do Quadrilátero Ferrífero definiu a maior pontuação (cinco pontos) para este indicador. Foi considerada a presença de pelo menos um dos componentes: cavas, planta industrial, barragens de contenção de rejeitos e pilha de material estéril.
10. **Localização em unidade de conservação de proteção integral:** a este indicador atribuiu-se nota zero quando uma canga localizava-se em unidade de conservação de proteção integral e uma nota cinco quando não estava localizada. Foram consideradas apenas as unidades de proteção integral por representarem uma das estratégias mais eficientes para a conservação da biodiversidade em longo prazo (Rodrigues *et al.*, 2004; Drummond *et al.* 2005). Além disso, como o próprio termo informa, as categorias de unidades de conservação de uso sustentável têm como objetivo básico a compatibilização da conservação da natureza com a exploração de seus recursos naturais (Lei nº 9985, de 18 de julho de 2000).
11. **Área da canga:** considerando a canga como uma unidade discreta indicadora de diversidade biológica e de processos ecológicos, as maiores notas foram atribuídas aos afloramentos maiores, seguindo os princípios de planejamento de áreas protegidas discutidos em Schwartz (1999). Nota máxima de três pontos.
12. **Heterogeneidade ambiental da canga:** afloramentos rochosos geralmente abrigam comunidades naturais que são controladas edaficamente, sendo a topografia de extrema relevância por determinar o acúmulo de matéria orgânica e umidade, favorecendo a diversidade local de espécies (Meirelles *et al.*, 1999; Porembski *et al.*, 2000). A maior pontuação (três pontos) foi atingida quando se observou menos de quatro ambientes. A descrição dos ambientes seguiu Jacobi *et al.* (2007).
13. **Fitofisionomias no entorno:** as cangas estão localizadas na zona de transição Mata Atlântica-Cerrado, favorecendo o intercâmbio de espécies campestres e florestais entre os afloramentos ferruginosos e a matriz. Os tipos fisionômicos foram adaptados do sistema proposto por Veloso *et al.* (1991). Nota máxima de três pontos.

Tabela 1 - Indicadores utilizados no protocolo de avaliação do estado de conservação das cangas do Quadrilátero Ferrífero, MG.

Grau de Ameaça / Indicador	Classe	Pontuação
Perda de hábitat Porcentagem da perda de área original da canga	0	0
	< 10	2
	10 – 30	3
	> 30	5
Distúrbios na canga Número de agentes observados: gado, trilha, lixo, construções, coleta predatória de espécies nativas, outros	0	0
	1	1
	2	2
	≥ 3	3
Fogo Porcentagem da área da canga	0	0
	< 10	1
	10 – 20	2
	> 20	3
Plantas exóticas invasoras Porcentagem da área da canga	0	0
	< 5	1
	5 – 15	2
	> 15	3
Distúrbios no entorno Número de agentes encontrados na faixa perimetral de 1 km adjacente à canga. Agentes: fogo, gado, plantas exóticas invasoras, trilha, lixo, coleta de plantas nativas	0	0
	1	1
	2	2
	≥ 3	3
Estradas Distância em km da borda da canga	> 1	0
	1 – 0,7	1
	0,7 – 0,2	2
	< 0,2	3

continuação

Grau de Ameaça / Indicador	Classe	Pontuação
Agropecuária Distância em km da borda da canga	> 1,5	0
	1,5 – 1	1
	1 – 0,5	2
	< 0,5	3
Núcleos urbanos Distância em km da borda da canga até cidades, condomínios ou indústrias, exceto mineração	> 1,5	0
	1,5 – 1	1
	1 – 0,5	2
	< 0,5	3
Mineração Distância em km da borda da canga de pelo menos um dos componentes: cava, barragem de contenção de rejeitos, planta industrial e pilha de material estéril	> 2	0
	2 – 1,5	2
	1,5 – 1	3
	< 1	5
Grau de Proteção/Indicador	Classe	Pontuação
Presença em unidade de conservação de proteção integral	sim	0
	não	5
Qualidade Ambiental/Indicador	Classe	Pontuação
Área da canga Em hectares	> 50	0
	50 – 30	1
	30 – 20	2
	< 20	3
Heterogeneidade ambiental da canga Número de ambientes observados na canga: capão, poça, lagoa, brejo, canal de drenagem, caverna, escarpa	≥ 6	0
	5	1
	4	2
	≤ 3	3
Fitofisionomias no entorno da canga Tipos fisionômicos encontrados na faixa perimetral de 1 km adjacente à canga: floresta estacional semidecidual, cerrado, mata de galeria, campos sujos, limpos e rupestres	≥ 5	0
	4	1
	3	2
	≤ 2	3

Cada canga foi classificada a partir da pontuação final obtida através do protocolo nas seguintes categorias de ameaça adaptadas de Dinerstein *et al.* (1995):

- **Relativamente Intacto (RI):** comunidades naturais, populações e processos ecológicos aparentemente intactos, sem alterações ou ameaças de origem antrópica. Pontuação: ≤ 3 pontos.
- **Relativamente Estável (RE):** alterações de origem antrópica perceptíveis podendo causar declínios locais nas populações naturais. Manutenção da integridade da paisagem relacionada principalmente a extensas áreas com comunidades naturais, processos ecológicos aparentemente intactos. Ausência de espécies exóticas invasoras. Pontuação: 4 até 16 pontos.
- **Vulnerável (VU):** afloramento que corre um risco de extinção se não forem adotadas medidas adequadas de manejo e proteção. Presença de espécies exóticas invasoras, perda e degradação de hábitat. Pontuação: 17 até 29 pontos.
- **Em Perigo (EN):** afloramento que corre um risco alto de extinção. Alterações na paisagem do entorno, ou matriz, e espécies exóticas invasoras comprometendo a manutenção de espécies nativas. Perda de hábitat causando alterações nos ambientes e processos ecológicos. Pontuação: 30 até 39 pontos.
- **Criticamente em Perigo (CR):** afloramento que corre um risco extremamente alto de extinção. Erosão biológica causada pela perda e degradação de hábitat e pela presença de espécies exóticas invasoras. Grandes alterações na paisagem do entorno, ou matriz, comprometendo a manutenção de espécies nativas e processos ecológicos. Pontuação: ≥ 40 .

O protocolo foi aplicado em 34 cangas distribuídas entre as principais estruturas geológicas do Quadrilátero Ferrífero (Anexo 1).

A classificação em uma determinada categoria de ameaça que abarcou pelo menos 60% da área total avaliada foi extrapolada para todo o **QF**, determinando a classificação geral para o conjunto de todas as cangas encontradas na região.

Grau de Ameaça Iminente

A avaliação final do estado de conservação das cangas foi determinada após a análise do grau de ameaça iminente, adaptando o método proposto por Dinerstein *et al.* (1995). Estes autores argumentaram que o estado de conservação de uma determinada localidade pode ser melhor avaliado integrando as avaliações atuais estimativas para os próximos 20 anos das ameaças oriundas dos principais agentes causadores de distúrbios ambientais.

O grau de ameaça foi composto por três categorias de ameaça iminente (cujo somatório pode atingir até 100 pontos), descritas a seguir (Tabela 2):

- **Ameaças de Conversão de Hábitat:** foram analisados o histórico de crescimento da produção brasileira de minério de ferro, o número de títulos minerários e as áreas de sobreposição em regiões de cangas e a expectativa de crescimento da indústria mineral de ferro em Minas Gerais a partir dos investimentos previstos para o setor.
- **Ameaças de Degradação de Hábitat:** foram considerados os agentes atrelados à atividade de mineração como principais fontes de distúrbio ambiental, e ainda, a expansão urbana, estradas, fogo, gado e plantas exótica invasoras.
- **Exploração da Vida Silvestre:** foi considerada a coleta ilegal de plantas.

O alto grau de ameaça iminente foi atribuído quando a nota total superou os 70 pontos. O grau médio de ameaça foi atribuído quando a nota total alcançou entre 20 e 69 pontos. O grau baixo de ameaça iminente foi atribuído quando a nota total foi inferior a 19 pontos. Desta forma, uma determinada localidade que apresentou grau alto de ameaça iminente avançará uma categoria de ameaça, por exemplo, de ‘Vulnerável’ para ‘Em Perigo’

Tabela 2 - Categorias de ameaça iminente e os principais agentes causadores de degradação ambiental em áreas de cangas no Quadrilátero Ferrífero. Adaptado de Dinerstein *et al.* (1995).

Categorias de Ameaça Iminente	Pontos	Agentes
<i>Ameaças de Conversão de Hábitat</i>		
Nenhuma ameaça reconhecida	0	Mineração
Conversão de 5 % a 9 % das áreas remanescentes nos próximos 20 anos	10	
Conversão de 10 % a 24 % das áreas remanescentes nos próximos 20 anos	20	
Conversão acima de 25 % das áreas remanescentes nos próximos 20 anos	50	
<i>Ameaças de Degradação</i>		
Nenhuma degradação reconhecida	0	Mineração
Degradação altera taxas de mortalidade e recrutamento em populações de espécies nativas. Modificação de processos ecológicos	15	Fogo Gado Plantas exóticas invasoras
Degradação eleva drasticamente as taxas de mortalidade e reduz as taxas de recrutamento de populações de espécies nativas. Redução da qualidade ambiental devido aos aumentos dos distúrbios e da poluição	30	Estradas
<i>Exploração da Vida Silvestre</i>		
Nenhuma exploração reconhecida	0	
Níveis moderados de exploração com reduções das populações	10	Coleta de plantas nativas
Níveis altos de exploração com a eliminação local de populações	20	

3.2.3 – Diagnóstico Ecorregional e Priorização para a Conservação

Com o objetivo de contextualizar o valor de conservação e a vulnerabilidade das cangas do QF com áreas consideradas relevantes para a conservação da biodiversidade no território nacional foram adaptados os métodos aplicados em um estudo sobre o estado de conservação de ecorregiões terrestres da América Latina e Caribe (Dinerstein *et al.*, 1995).

Uma ecorregião pode ser definida, segundo Dinerstein *et al.* (2005), como um conjunto de áreas naturais geograficamente delimitadas que compartilham a maior parcela de

espécies, habitats, processos e funções ecossistêmicas fundamentais para a manutenção das comunidades naturais em longo prazo. No Brasil, o reconhecimento de ecorregiões está subsidiando a localização de novas unidades de conservação (Rylands & Brandon, 2005).

A avaliação do estado de conservação das cangas foi realizada em duas etapas:

1. Aplicação de um índice de ameaça ambiental;
2. Avaliação do grau de ameaça iminente;

Índice de Ameaça Ambiental

Baseado nos princípios da Ecologia da Paisagem e da Biologia da Conservação Dinerstein *et al.* (1995) utilizaram algumas variáveis correlacionadas com alterações na integridade ambiental que poderiam prever alterações nos processos ecossistêmicos, nas dinâmicas populacionais e dinâmicas de sucessão. Estas variáveis foram integradas em um índice de ameaça ambiental (Tabela 3) constituído por seis parâmetros:

1. **Perda do Habitat:** abarcando 40 % da pontuação total do índice.
2. **Blocos Remanescentes:** avaliou-se a área total formada por blocos grandes e intactos ou relativamente inalterados. Representou 20% da pontuação total. No presente trabalho foram consideradas as cangas com áreas maiores do que 50 ha – blocos grandes – e com perdas menores do que 4% da área original – cangas consideradas relativamente inalteradas.
3. **Fragmentação Ambiental:** representou 10% da pontuação total.
4. **Degradação Ambiental:** avaliado a partir do montante das áreas remanescentes de cangas que sofreram perdas individuais maiores do que 5% da área original. Representou 10% da pontuação total.
5. **Conversão do Habitat:** representando 10% da pontuação total, este parâmetro considerou as previsões de perda ou degradação ambiental estimadas para os próximos 10 anos. As estimativas foram baseadas apenas em documentos relacionados aos processos de licenciamento ambiental de atividades de mineração de ferro emitidos no período de 2007 e 2009.
6. **Grau de Proteção:** avaliado o total das áreas consideradas intactas ou relativamente

inalteradas incorporadas em um sistema de áreas protegidas. Representou 10% da pontuação total. Foram consideradas “intactas” as cangas com perdas menores do que 4% da área original e incorporadas em unidades de proteção integral.

O índice de ameaça, com notas de zero até 100 pontos, representa um gradiente de degradação ou ameaça atual, com valores maiores indicando os piores estados de conservação. As categorias de ameaça e as respectivas pontuações utilizadas foram:

- **Relativamente Intacto:** até seis pontos;
- **Relativamente Estável:** sete até 36 pontos;
- **Vulnerável:** 37 até 64 pontos;
- **Em Perigo:** 65 até 88 pontos;
- **Criticamente em Perigo:** acima de 89 pontos.

A avaliação final do estado de conservação das cangas também foi determinada após a análise do grau de ameaça iminente proposta por Dinerstein *et al.* (1995) e descrita anteriormente (item 3.2.2; Tabela 2). Portanto, uma determinada localidade que apresentar um grau alto de ameaça iminente avançará uma categoria de ameaça.

Avaliação da prioridade para a conservação das cangas no Quadrilátero Ferrífero

De acordo com Dinerstein *et al.* (1995) uma estratégia de priorização de áreas para conservação surge da integração do conhecimento do estado de conservação de uma determinada localidade, do valor de conservação desta área e, posteriormente, de uma hierarquização baseada em tipos de habitats e em escalas espaciais. Essa hierarquização foi composta por três níveis: Tipos Principais de Ecossistemas, Tipos Principais de Habitats e Biorregiões² (Anexo 2).

² Biorregião: uma das nove divisões biogeográficas da América Latina e Caribe formada por ecorregiões contíguas (Dinerstein *et al.*, 1995).

Tabela 3 – Índice de ameaça ambiental (Dinerstein *et al.*, 1995).

Parâmetro	Classes	Pontuação
Perda do Hábitat Porcentagem da área original	< 10	0
	10 até 24	10
	25 até 49	20
	50 até 89	32
	> 90	40
Blocos Remanescentes Porcentagem da área total formada por blocos grandes e intactos	> 80	2
	40 até 80	5
	10 até 40	10
	1 até 10	15
	< 1	20
Fragmentação do Hábitat		
Relativamente contínuo	Sem alterações perceptíveis	0
Baixa	Mais da metade dos blocos sem alterações perceptíveis	3
Média	Intervenções na paisagem alterando processos ecológicos	6
Avançada	Intervenções na paisagem alterando processos ecológicos na maioria dos blocos remanescentes	8
Alta	Maioria dos blocos estão isolados. Grandes blocos fragmentados devido aos efeitos de borda. Grandes intervenções na paisagem modificam a permeabilidade da matriz.	10
Degradação do Hábitat		
Porcentagem das áreas remanescentes		
Baixa	< 10	0
Média	10 até 40	5
Alta	> 40	10
Conversão do Hábitat		
Estimativa em porcentagem de áreas convertidas ao ano		
	< 0,5	0
	0,6 até 2	6
	2,1 até 3	8
	3,1 até 4	9
	> 4	10
Grau de Proteção		
Porcentagem da área remanescente e intacta incorporada em sistema de proteção ambiental		
	> 50	1
	40 até 49	4
	20 até 39	6
	1 até 19	8
	Nenhuma área protegida	10

O valor de conservação foi mensurado a partir da determinação do “destaque biológico” (*biological distinctiveness*) daquelas áreas em diferentes escalas biogeográficas (Dinerstein *et al.*, 1995).

Os critérios adotados para definir as categorias de “destaque biológico” foram: diversidades alfa, beta e gama, raridade de espécies ou fenômenos e processos ecológicos e endemismos. Além destes, foram considerados os números e os tamanhos de localidades que compartilham uma mesma macrorregião identificada por Tipos Principais de Hábitat.

O destaque biológico de uma localidade pode ser classificado em diferentes escalas biogeográficas a partir de quatro categorias:

- **Globalmente Notável:** se no mundo menos de sete ecorregiões existirem em uma mesma macrorregião (Tipos Principais de Hábitat) ou se a localidade for a maior dentre as que ocorrem na mesma macrorregião.
- **Regionalmente Notável:** se menos de três ecorregiões ocorrerem na escala regional (América Latina e Caribe) ou se a localidade for a maior dentre as que ocorrem na mesma macrorregião (Tipos Principais de Hábitat).
- **Biorregionalmente Notável:** se dentro de uma biorregião, uma localidade for a única ocorrência representativa de uma macrorregião (Tipos Principais de Hábitat).
- **Localmente Importante:** localidade mantenedora de biodiversidade peculiar, porém sem se enquadrar nas categorias anteriores. Tais localidades são estratégicas para a manutenção da biodiversidade nacional ou subregional.

Uma matriz de integração foi utilizada por Dinerstein *et al.* (1995) como ferramenta de hierarquização de áreas prioritárias para a conservação (Tabela 4). No eixo horizontal estão às categorias do estado de ameaça e no eixo vertical as categorias de destaque biológico. Deve-se utilizar uma matriz para cada Tipo Principal de Hábitat de forma a assegurar comparações apropriadas entre as ecorregiões. Com isso evita-se a comparação inadequada entre uma ecorregião localizada na Caatinga com outra localizada no Cerrado, por exemplo.

Tabela 4 – Matriz de integração para hierarquização de áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade (Dinerstein *et al.*,1995). CR: Criticamente em perigo; EN: Em perigo; VU: Vulnerável; RE: Relativamente estável; RI: Relativamente intacto. **I** : localidades com extrema prioridade para a conservação.

Destaque Biológico	Estado de Conservação				
	CR	EN	VU	RE	RI
Globalmente Notável	I	I	I	I	II
Regionalmente Notável	I	I	I	II	III
Biorregionalmente Notável	II	II	III	III	IV
Localmente Importante	III	III	IV	IV	IV

A matriz de integração permite classificar uma ecorregião em quatro categorias de prioridade de conservação:

- **Categoria I:** Extrema prioridade na escala regional;
- **Categoria II:** Alta prioridade na escala regional;
- **Categoria III:** Moderada prioridade na escala regional;
- **Categoria IV:** Importante na escala nacional.

Ainda de acordo com Dinerstein *et al.* (1995) algumas considerações devem ser feitas quanto à hierarquização da matriz: 1º - inserir funções ou serviços ecológicos na análise, como seqüestro de carbono ou áreas de aquífero ou de recarga hídrica; 2º - assegurar a representatividade biorregional classificando ao menos uma localidade de cada biorregião como uma área de extrema prioridade para a conservação na escala regional. Esta recomendação fundamenta-se na dissimilaridade de espécies e comunidades naturais encontradas em um determinado tipo principal de hábitat, podendo englobar grandes áreas geográficas e, por conseguinte, gradientes ambientais bastante distintos. Para isso a localidade deve apresentar, além de atributos de destaque biológico e/ou serviços ecológicos, também um grau alto de ameaça iminente para os próximos 20 anos.

3.3 – Proposta de áreas-alvo para a investigação da diversidade biológica e identificação de áreas-prioritárias para a conservação das cangas em Minas Gerais

Seguindo a lógica adotada no presente trabalho, onde as cangas constituem o objeto de conservação, foram identificadas localidades-alvo para a investigação científica e conservação das cangas a partir de registros geológicos das formações ferríferas bandadas. Inicialmente, produziu-se um mapa com as ocorrências das formações ferríferas bandadas associadas aos principais depósitos de minérios de ferro de Minas Gerais, seguindo Alecrim (1982), Schobbenhaus & Coelho (1986) e Lobato & Pedro-Soares (1993).

A priori, estas localidades foram consideradas como áreas-alvo para a investigação da diversidade biológica por representarem regiões com uma potencialidade muito alta, acima de 90%, de ocorrer cavernas (CECAV, 2008) e por constituírem áreas metalíferas com relevante potencial de abrigar plantas metalófitas, *sensu* Whiting *et al.* (2004).

As áreas de cangas foram estimadas para algumas localidades a partir de mapas geológicos (Vilela *et al.*, 1986) e de documentos relacionados ao processo de licenciamento ambiental de empreendimentos de mineração de ferro (SISEMA/Parecer Único, 2008).

Para a identificação das áreas prioritárias para a conservação foi adotada a análise de lacunas (Jennings, 2000), um método que integra atributos como vulnerabilidade, representatividade no sistema de unidades de conservação e insubstituibilidade (Rodrigues *et al.*, 2004; Drummond *et al.*, 2005). Foram consideradas para a análise apenas as localidades ferríferas contendo registros confirmados de cangas, que estejam vulneráveis e que contenham um alto valor para a conservação.

A mineração constitui o principal agente de alteração ambiental nas áreas metalíferas (WWF & IUCN, 1999; Ginocchio & Baker, 2004). Desta maneira, estimou-se a vulnerabilidade das localidades que contêm cangas sobrepondo a distribuição dos títulos minerários de ferro de acordo com as fases do processo de definição e outorga da jazida, ou seja, fases de pesquisa até a concessão da lavra (Decreto n° 62934, de 2 de julho de 1968).

Uma determinada localidade apresentou vulnerabilidade baixa quando as áreas de sobreposição de títulos referentes às fases de disponibilidade, requerimento de lavra e concessão de lavra somarem até 30% da área total das formações ferríferas. Quando as áreas de sobreposição somarem entre 31% e 60% da área total das formações ferríferas de uma

localidade, esta foi considerada com vulnerabilidade média. Uma determinada localidade apresentou vulnerabilidade alta quando as áreas de sobreposição de títulos referentes às fases de disponibilidade, requerimento de lavra e concessão de lavra somarem mais do que 61% das áreas totais das formações ferríferas. As fases iniciais do processo de definição e outorga da jazida, a saber, requerimento e autorização de pesquisa mineral não foram consideradas para efeito de vulnerabilidade.

As áreas com alto valor para a conservação foram avaliadas a partir das Áreas-Chave para a Biodiversidade – ACBs – definidas para o grupo das plantas (Giulietti *et al.*, 2009). Apenas as ACBs que continham pelo menos um dos componentes: títulos minerários de ferro, formações ferríferas bandadas e/ou cangas foram consideradas. Portanto as áreas prioritárias representaram localidades que necessitam de ações urgentes para a conservação com o objetivo de reduzir ou evitar a perda da diversidade biológica.

Um segundo mapa foi produzido, sobrepondo quatro camadas de informação: 1) as localidades de formações ferríferas bandadas; 2) os títulos minerários nas fases de disponibilidade, requerimento de lavra e concessão de lavra; 3) as Áreas-Chave para a Conservação da Biodiversidade (Giulietti *et al.*, 2009) associadas a esses títulos minerários; e 4) as unidades de conservação de proteção integral existentes em Minas Gerais.

Os mapas foram produzidos utilizando o programa ESRI ArcGIS 9.3 e bancos de dados digitais disponibilizados por SIGMINE: Informações Geográficas da Mineração (DNPM, 2009); Sistema Integrado de Informação Ambiental (SIAM/SEMAD, 2009); Serviço Geológico do Brasil (CPRM/GEOBANK, 2009) e Plantas Raras do Brasil (www.plantasrarasdobrasil.org.br. Consulta: 10/11/2009).

4 – RESULTADOS

4.1 – As cangas constituem áreas com alto valor para a conservação?

Raridade e Endemismo

O QF abriga pelo menos 77 espécies de plantas vasculares endêmicas ou provavelmente endêmicas (Tabela 5). Destas espécies, 51 foram citadas no livro Plantas Raras do Brasil (Giulietti *et al.*, 2009). Neste mesmo trabalho foram citadas outras 12 espécies de

plantas raras que ocorrem no **QF** e em áreas disjuntas como a Serra do Cipó, Serra do Caparaó e Serra do Itambé. Portanto, pelo menos 89 espécies de plantas vasculares de grande importância para a conservação ocorrem no **QF**.

Estas 89 espécies estão distribuídas entre 37 famílias botânicas. As pteridófitas estão representadas por cinco famílias, cinco gêneros e cinco espécies. As angiospermas estão representadas por 32 famílias, 54 gêneros e 84 espécies. Na Lista Oficial das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção, apenas 11 destas espécies (12%) foram citadas como ameaçadas de extinção e 18 (16%) foram citadas como espécies com deficiência de dados (DD) adequados para enquadrá-las na condição de ameaçadas (Instrução Normativa n° 6, de 23 de setembro de 2008). Na Lista das Espécies Ameaçadas de Extinção da Flora do Estado de Minas Gerais, 40 espécies (44%) foram citadas como ameaçadas de extinção e 24 (27%) apresentaram deficiência de dados (COPAM, 2008). Algumas discrepâncias foram encontradas ao comparar as listas, onde 30 espécies ameaçadas citadas na lista estadual não foram citadas na lista federal ou foram citadas como DD. Uma espécie citada como ameaçada na lista federal foi citada na lista estadual como DD.

O Quadrilátero contém e está contido em 12 Áreas-Chave para a Conservação da Biodiversidade - ACBs (Giulietti *et al.*, 2009), representando 11% do total de ACBs em Minas Gerais. As 63 espécies de plantas raras (Giulietti *et al.*, 2009) que ocorrem no **QF** qualificam-no como uma das áreas mais importantes do Brasil para a conservação de plantas, sendo superado em número de espécies raras apenas pelos estados do Pará (68 espécies raras), São Paulo (123), Espírito Santo (135), Amazonas (164), Goiás e Distrito Federal (202), Rio de Janeiro (250), Bahia (484) e Minas Gerais (550, incluindo o **QF**).

As cangas do Quadrilátero abrigam cerca de 13 espécies que, no estado de Minas Gerais, ocorrem provavelmente apenas nestes afloramentos. De acordo com a Lista Oficial das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção, nenhuma destas espécies foi considerada ameaçada de extinção e seis espécies (46%) apresentaram deficiência de dados. Na Lista das Espécies Ameaçadas de Extinção da Flora do Estado de Minas Gerais, 10 espécies (77%) foram citadas como ameaçadas de extinção e duas (15%) apresentaram deficiência de dados.

Pelo menos 12 espécies merecem uma investigação acerca do tipo de ambiente em que ocorrem, pois as localidades de coleta (Rapini, 2000; Giulietti *et al.*, 2009) constituem regiões onde as formações ferríferas e as cangas associadas são bastante frequentes:

- *Staurogyne warmingiana* (Acanthaceae). Coletada na Serra da Piedade.
- *Ditassa myrtilloides* (Apocynaceae). Coletada na Serra da Moeda. Coleta não confirmada para a Serra do Caraça.
- *Ditassa pedunculata* (Apocynaceae). Coletada na Serra da Moeda, Pico do Itabirito e Ouro Preto.
- *Schefflera lucumoides* (Araliaceae). Coletada na Serra do Itabirito e em Rio Acima.
- *Stevia resinosa* (Asteraceae). Coletada na Serra da Piedade.
- *Paronychia fasciculata* (Caryophyllaceae). Coletada em Belo Horizonte.
- *Chamaecrista itabiritoana* (Fabaceae). Coletada na Serra do Itabirito.
- *Microlicia cuspidifolia* (Melastomataceae). Coletada na Serra do Rola Moça e em Ouro Preto.
- *Microlicia microphylla* (Melastomataceae). Coletada no Pico do Itabirito e em Ouro Preto.
- *Barbacenia williamsii* (Velloziaceae). Coletada na Serra do Curral.
- *Vellozia sellowii* (Velloziaceae). Coletada na Serra da Piedade e no Pico do Itabirito.
- *Xyris villosicarinata* (Xyridaceae). Coletada na Serra do Itabirito.

Tabela 5 – Espécies de plantas vasculares com alto valor para a conservação que ocorrem no Quadrilátero Ferrífero, MG. **DG**: distribuição geográfica; **CG**: endêmica ou presumivelmente endêmica de cangas do Quadrilátero Ferrífero; **QF**: Quadrilátero Ferrífero; **PLR**: planta rara (*sensu* Giulietti *et al.*, 2009); **BR**: Lista Oficial das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção; **MG**: Lista das Espécies Ameaçadas de Extinção da Flora do Estado de Minas Gerais; **AE**: ameaçada de extinção; **EX**: extinta; **CR**: criticamente em perigo; **EN**: em perigo; **VU**: vulnerável; **NA**: não ameaçada; **DD**: deficiência de dados.

Família	Gênero	Espécie	DG	PLR	BR	MG
<i>Pteridófitas</i> ¹						
Aspleniaceae	<i>Asplenium</i>	<i>schwackei</i> Christ	QF		AE	CR
Grammitidaceae	<i>Ceradenia</i>	<i>warmingii</i> (C. Chr.) Labiak	QF		AE	CR
Hymenophyllaceae	<i>Hymenophyllum</i>	<i>silveirae</i> Christ	QF		DD	CR
Lomariopsidaceae	<i>Elaphoglossum</i>	<i>badinii</i> Novelino	QF			
Lycopodiaceae	<i>Huperzia</i>	<i>rubra</i> (Cham. & Schltdl.) Trevis	QF		AE	CR
<i>Angiospermas</i>						
Acanthaceae	<i>Staurogyne</i>	<i>minarum</i> (Nees) Kuntze	QF	•		
	<i>Staurogyne</i>	<i>vauthieriana</i> (Nees) Kuntze	QF	•	DD	EN
	<i>Staurogyne</i>	<i>warmingiana</i> (Hiern) Leonard	QF	•	AE	CR
Annonaceae	<i>Annona</i>	<i>saffordiana</i> R.E. Fries	QF	•		
Apocynaceae	<i>Ditassa</i>	<i>longisepala</i> (Hua) Fontella & E.A.Schwarz	QF	•		VU
	<i>Ditassa</i> ²	<i>monocoronata</i> (Rapini) T.U.P. Konno & Rapini	CG	•	DD	EN
	<i>Ditassa</i> ⁶	<i>myrtilloides</i> Fenzl ex E. Fourn.	QF			
	<i>Ditassa</i> ⁶	<i>pedunculata</i> Malme	QF			EN
Araliaceae	<i>Schefflera</i>	<i>lucumoides</i> (Decne. & Planch. ex Marchal) Frodin & Fiaschi	QF	•		VU
Asteraceae	<i>Chionolaena</i>	<i>lychnophorioides</i> Sch.Bip.		•	DD	VU
	<i>Dasyphyllum</i>	<i>trychophyllum</i>		•		DD
	<i>Stevia</i>	<i>resinosa</i> Gardner	QF	•		DD
Bignoniaceae	<i>Lundia</i>	<i>damazii</i> DC.	QF	•		
Bromeliaceae	<i>Billbergia</i> ³	<i>amoena</i> var. <i>minor</i> (Antoine & Beer) L.B. Sm.	QF			
	<i>Billbergia</i> ³	<i>elegans</i> Mart. ex Schult. & Schult. f.	QF			
	<i>Cryptanthus</i> ³	<i>caracensis</i> Leme & E. Gross	QF		DD	VU
	<i>Cryptanthus</i> ³	<i>glaziovii</i> Mez	QF		DD	VU
	<i>Cryptanthus</i> ³	<i>schwackeanus</i> Mez	QF			VU
	<i>Dyckia</i>	<i>bracteata</i> (Wittm.) Mez	QF	•		NA
	<i>Dyckia</i> ^{3,4}	<i>consimilis</i> Mez	CG			DD

continuação...

Família	Gênero	Espécie	DG	PLR	BR	MG
<i>Angiospermas</i>						
Bromeliaceae	<i>Dyckia</i> ^{3,4}	<i>densiflora</i> Schult. & Schult. f.	CG	•		DD
	<i>Dyckia</i> ³	<i>elata</i> Mez	QF			
	<i>Dyckia</i> ^{3,4}	<i>schwackeana</i> Mez	CG			CR
	<i>Dyckia</i> ³	<i>simulans</i> L.B. Sm.	QF			DD
	<i>Dyckia</i> ³	<i>trichostachya</i> Baker	QF			DD
	<i>Nidularium</i> ³	<i>linehamii</i> Leme	QF			
	<i>Vriesea</i> ³	<i>clauseniana</i> (Baker) Mez	QF			EN
	<i>Vriesea</i> ^{3,7}	<i>longistaminea</i> C.C.Paula & Leme	CG		DD	CR
Cactaceae	<i>Vriesea</i> ^{3,4}	<i>minarum</i> L.B. Sm.	CG		DD	VU
	<i>Arthrocereus</i> ⁴	<i>glaziovii</i> (K.Schum.) N.P.Taylor & Zappi	CG	•	DD	CR
	<i>Cipocereus</i>	<i>laniflorus</i> N.P.Taylor & Zappi	QF	•	AE	CR
Caryophyllaceae	<i>Paronychia</i>	<i>fasciculata</i> Chaudhri	QF	•		DD
Celastraceae	<i>Maytenus</i>	<i>radlkoferiana</i> Loes	QF	•		DD
Eriocaulaceae	<i>Actinocephalus</i>	<i>falcifolius</i> (Koern.) Sano	QF	•		CR
	<i>Leiothrix</i>	<i>gomesii</i> Silveira	QF	•		EX
	<i>Paepalanthus</i>	<i>conduplicatus</i> Koern.		•		
	<i>Paepalanthus</i>	<i>flaviceps</i> Koern.	QF	•		CR
	<i>Paepalanthus</i>	<i>garimpensis</i> Silveira	QF	•		CR
	<i>Paepalanthus</i>	<i>langsdorffii</i> (Bong.) Koern.	QF	•		
	<i>Paepalanthus</i>	<i>xiphophyllus</i> Ruhland	QF	•		DD
	<i>Chamaecrista</i>	<i>caracencis</i> (H.S.Irwin & Barneby) H.S.Irwin & Barneby	QF	•		
Fabaceae	<i>Chamaecrista</i>	<i>itabiritoana</i> (H.S.Irwin & Barneby) H.S.Irwin & Barneby	QF	•		
	<i>Chamaecrista</i>	<i>pilicarpa</i> (Harms) H.S.Irwin & Barneby	QF	•		
	<i>Mimosa</i> ⁴	<i>calodendron</i> Mart. ex Benth.	CG			
Gentianaceae	<i>Deianira</i>	<i>damazioi</i> E.F.Guim.	QF	•		
Gesneriaceae	<i>Sinningia</i> ⁴	<i>rupicola</i> (Mart.) Wiehler	CG			VU
Lamiaceae	<i>Hyptidendron</i>	<i>clausenii</i> (Benth.) Harley	QF	•	AE	VU
	<i>Hyptis</i>	<i>rhyptidiophylla</i> Briq.	QF	•	AE	VU
	<i>Hyptis</i>	<i>tricephala</i> A.St.-Hil. ex Benth.	QF	•	DD	VU
Lauraceae	<i>Cryptocarya</i>	<i>sellowiana</i> P.L.R. de Moraes	QF	•		
	<i>Persea</i>	<i>pedunculosa</i> Meisn.	QF	•	DD	NA
Malpighiaceae	<i>Banisteriopsis</i>	<i>salicifolia</i> (DC.) B. Gates	QF	•		DD
Melastomataceae	<i>Cambessedesia</i>	<i>pityrophylla</i> (Mart. ex DC.) A.B.Martins	QF	•		DD
	<i>Eriocnema</i>	<i>acaulis</i> Triana	QF	•	AE	DD
	<i>Eriocnema</i>	<i>fulva</i> Naudin	QF	•	AE	CR

continuação...

Família	Gênero	Espécie	DG	PLR	BR	MG
<i>Angiospermas</i>						
Melastomataceae	<i>Lavoisiera</i>	<i>punctata</i> Mart. & Schrank. ex DC		•		DD
	<i>Microlicia</i>	<i>cuspidifolia</i> Mart.	QF	•	DD	DD
	<i>Microlicia</i>	<i>glazioviana</i> Cogn.	QF	•	DD	DD
	<i>Microlicia</i>	<i>microphylla</i> (Naudin) Cogn.	QF	•	DD	DD
	<i>Microlicia</i>	<i>suborbicularifolia</i> Hoehne	QF	•		
	<i>Trembleya</i>	<i>calycina</i> Cham.	QF	•		DD
	<i>Trembleya</i>	<i>rosmarinoides</i> DC.	QF	•		DD
Monimiaceae	<i>Macropeplus</i>	<i>schwackeanus</i> (Perkins) I. Santos & Peixoto		•		DD
Myrtaceae	<i>Accara</i>	<i>elegans</i> (DC.) Landrum		•	DD	VU
	<i>Campomanesia</i>	<i>prosthecephala</i> Kiaersk.	QF	•		DD
Ochnaceae	<i>Luxemburgia</i>	<i>corymbosa</i> A.St.-Hil	QF	•	DD	CR
Oleaceae	<i>Chionanthus</i>	<i>greenii</i> Lombardi	QF	•		
Orchidaceae	<i>Habenaria</i>	<i>itacolumbia</i> Garay	QF	•	AE	CR
	<i>Oncidium</i> ⁴	<i>gracile</i> Lindl.	CG		DD	CR
	<i>Sophronitis</i> ⁴	<i>milleri</i> (Blumensh. ex Pabst) Van den Berg & M.W. Chase	CG		DD	CR
Orobanchaceae	<i>Agalinis</i>	<i>schwackeana</i> (Diels) V.C. Souza & Giul.		•		DD
Passifloraceae	<i>Passiflora</i>	<i>hypoglauca</i> Harms.		•		DD
Plantaginaceae	<i>Stemodia</i>	<i>lobata</i> J.A.Schmidt		•		DD
Poaceae	<i>Colantheria</i>	<i>distans</i> (Trin.) McClure	QF	•		CR
	<i>Paspalum</i> ⁴	<i>brachytrichum</i> Hack.	CG	•		CR
Polygalaceae	<i>Securidaca</i>	<i>acuminata</i> A.St.-Hil. & Moq.		•		
Symplocaceae	<i>Symplocos</i>	<i>angulata</i> Brand	QF	•		DD
	<i>Symplocos</i>	<i>microstyla</i> Aranha, P.W. Fritsch et Almeda	QF	•		VU
Velloziaceae	<i>Barbacenia</i>	<i>williamsii</i> L.B.Sm.	QF	•		
	<i>Vellozia</i>	<i>sellowii</i> Seub.	QF	•		
Verbenaceae	<i>Stachytarpheta</i>	<i>ajugifolia</i> Schauer		•		CR
	<i>Stachytarpheta</i> ⁵	<i>confertifolia</i> Moldenke	*CG			CR
Xyridaceae	<i>Xyris</i>	<i>nigricans</i> L.A.Nilsson		•	AE	EN
	<i>Xyris</i>	<i>villosicarinata</i> Kral & Wand.	QF	•		

¹Salino & Almeida, 2008

²Rapini *et al.*, 2002

³Versieux *et al.*, 2008

⁴Viana, 2008

⁵Atkins, 2005; * *S. confertifolia* possui distribuição disjunta no estado de Goiás.

⁶Rapini, 2000

⁷Leme & Paula, 2004

Serviços do Ecossistema: Recursos Hídricos

1) O valor monetário anual do serviço ambiental ‘recursos hídricos’ baseado na estimativa da vazão específica das formações ferríferas bandadas foi calculado a partir de dois fatores:

$E^1 = R\$ 0,0024$ (Valor pago pelo consumo residencial de 1 litro de água captada em mananciais localizados no Quadrilátero Ferrífero).

$E^2 = R\$ 0,90$ (Valor pago no varejo por um litro de água mineral sem gás produzido no Quadrilátero Ferrífero). Assim, substituindo e resolvendo a equação:

$$A = B \times C \times D \times E$$

$$A^1 = 17,5 \times 908 \times 31.536.000 \times 0,0024 = R\$ 1.202.656.896,00 \text{ a.a.}$$

$$A^2 = 17,5 \times 908 \times 31.536.000 \times 0,90 = R\$ 450.996.336.000,00 \text{ a.a.}$$

2) O valor monetário do serviço ambiental ‘recursos hídricos’ baseado na estimativa das reservas explotáveis associadas às formações ferríferas foi calculado a partir de dois fatores:

$C^1 = R\$ 0,0024$ (Valor pago pelo consumo residencial de 1 litro de água captada em mananciais localizados no Quadrilátero Ferrífero).

$C^2 = R\$ 0,90$ (Valor pago no varejo por um litro de água mineral sem gás produzida no Quadrilátero Ferrífero). Assim, substituindo e resolvendo a equação:

$$A = B \times C$$

$$A^1 = 4 \times 10^{12} \times 0,0024 = R\$ 9.600.000.000,00$$

$$A^2 = 4 \times 10^{12} \times 0,90 = R\$ 360.000.000.000,00$$

4.2 - Avaliação do Estado de Conservação das Cangas no Quadrilátero Ferrífero

4.2.1 – Análise espacial e elaboração de um índice de vulnerabilidade

Áreas de Referência

Na década de 1960 as cangas cobriam uma área total de 18.518,6 ha nas principais estruturas geológicas do QF (Figura 11; Anexo 3). Estas áreas eram distribuídas entre 325 cangas com áreas médias de 57 ha \pm 220 ha. Nestas áreas de referência, o menor afloramento apresentava área de 0,2 ha e o maior 2.396,3 ha, este último localizado no Sinclinal Alegria.

A maioria das cangas (82%) apresentava áreas menores que 50 ha, por outro lado, cangas maiores que 100 ha representavam apenas 9% do total de afloramentos (Figura 12). O Sinclinal Gandarela continha a maior área de cangas, com 5.990,6 ha distribuídos entre 25

afloramentos, seguido pelo Sinclinal Alegria com uma área total de 3.107 ha e 12 cangas, o sinclinal Moeda com 131 cangas somava uma área de 3.068,8 ha e a Serra do Curral somava uma área de 2.124,5 ha distribuídos entre 68 cangas (Tabela 6). Estas quatro regiões abarcavam mais de 77% das áreas de canga no Quadrilátero.

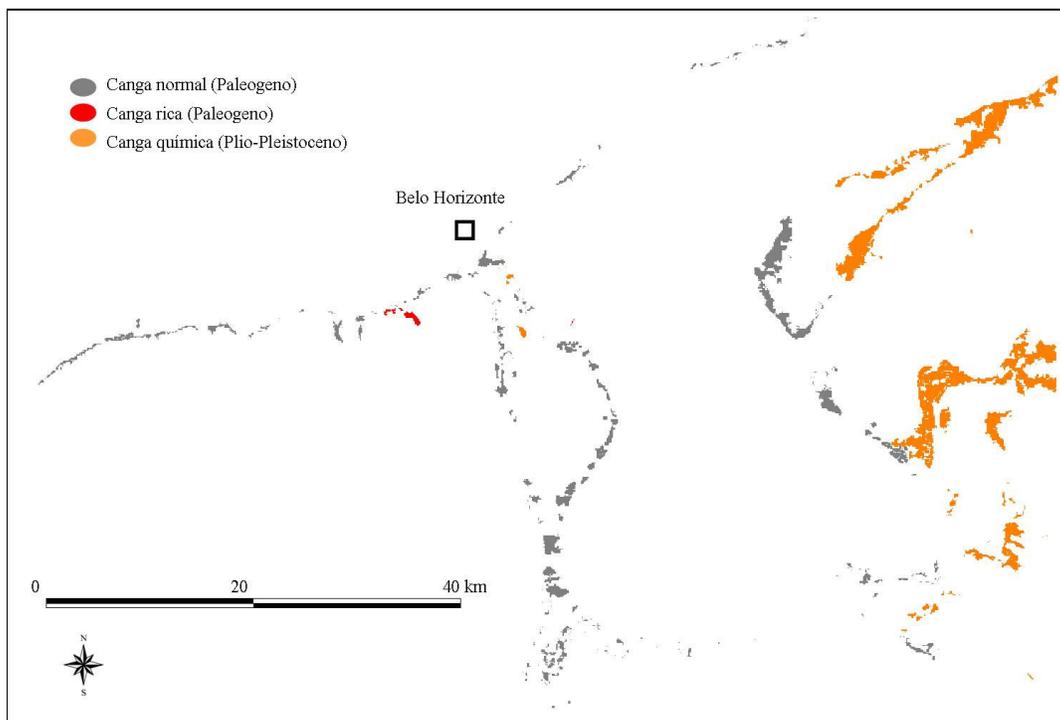


Figura 11 – Distribuição das cangas (n = 325) no Quadrilátero Ferrífero, representando as áreas de referência. Adaptado de Lobato *et al* (2005).

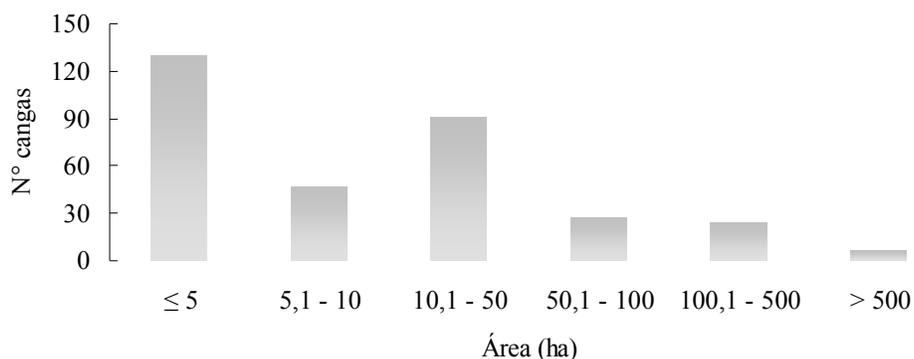


Figura 12 – Número de cangas (n = 325), por categoria de tamanho, que ocorriam no Quadrilátero Ferrífero até a década de 1960.

O tipo geológico mais abundante foi a ‘canga química’ com área total de 10.651,9 ha distribuída entre 68 afloramentos. As cangas químicas, com exceção de pequenas áreas no Sinclinal Moeda, ocorrem no extremo leste do **QF**. A ‘canga normal’, com área total de 7.677,8 ha distribuídos em 250 afloramentos, predomina no setor oeste do **QF**, além de ocorrências na região da Serra da Piedade, no Sinclinal Ouro Fino, no setor oeste do Sinclinal Gandarela e no setor leste do Sinclinal Dom Bosco. A ‘canga rica’, com área total de 189 ha e sete afloramentos, ocorre em áreas restritas do setor setentrional do Sinclinal Moeda e na região da Serra dos Três Irmãos (topônimo local de um setor da Serra do Curral).

A maioria das áreas de cangas foram formadas durante o Plio-Pleistoceno, entre 1 e 23 milhões de anos, sendo representadas por 10.651,9 ha distribuídos entre 68 afloramentos (canga química). As cangas do tipo ‘normal’ e ‘rica’ formaram-se durante o Paleogeno, entre 23 e 55 milhões de anos, sendo ao todo 257 afloramentos com área de 7.866,7 ha (Figura 11).

A amplitude altitudinal das cangas era superior a 1.100 m, com altitudes variando entre 700 m e 1.880 m. Organizando os afloramentos de acordo com a altitude máxima, a classe altitudinal mais freqüente, entre 1.300 até 1.600 m, agrupou 44% do número total das cangas. Os afloramentos em que as altitudes máximas ultrapassaram 1.600 m foram agrupados na classe com a menor freqüência, com 2,7% das cangas. A área total de cangas acima de 1.600 m era menor que 450 ha, ou 2,4% da área total das cangas no **QF** (Figura 13). As cangas tipo normal atingiram as maiores altitudes máximas (1.880 m) com média de 1.337 m \pm 172 m. As cangas tipo rica atingiram 1.380m, com média de 1.253 m \pm 94 m. As cangas químicas foram representadas pelas menores médias entre as altitudes máximas (1.029 m \pm 194 m), com altitudes máximas variando entre 1.490 m e 710 m.

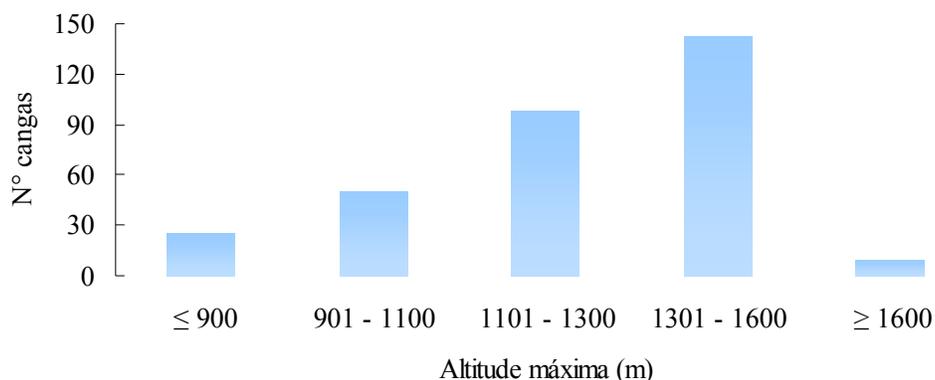


Figura 13 – Número de cangas (n = 325), por categoria de altitude, que ocorriam no Quadrilátero Ferrífero até a década de 1960.

Analisando o arranjo das cangas na paisagem, de modo geral, pode-se observar um padrão na distribuição entre os tipos geológicos. As cangas mais antigas - tipos ‘normal’ e ‘rica’ - (Paleogeno) ocorrem predominantemente em áreas montanhosas no centro e no oeste do Quadrilátero. As cangas em maiores altitudes do Brasil, provavelmente, estão localizadas nas regiões das Serras da Piedade, Capanema e Gandarela. As cangas ‘químicas’ (Plio-Pleistoceno), com as maiores áreas, predominam no extremo leste, ocorrendo nas regiões mais baixas do relevo. A ocorrência de lagoas e brejos é freqüente nestas cangas.

Áreas Atuais

A área total das cangas atinge atualmente cerca de 11.170 ha, distribuídos entre 225 afloramentos com áreas médias de 49,7 ha \pm 171,3 ha. Em pouco mais de 40 anos já foram irreversivelmente perdidos aproximadamente 7.340 ha de cangas, cerca de 40% da área de referência, e foram extintos 100 afloramentos ferruginosos.

Entre as cangas remanescentes, 107 perderam até 4% da área original, 59 perderam entre 5% e 30%, 34 cangas perderam entre 31% e 60% e 25 perderam entre 61% e 95% da área de referência. Aproximadamente 53% das áreas remanescentes foram constituídas de cangas que perderam entre 5% até 30% do hábitat (Figura 14).

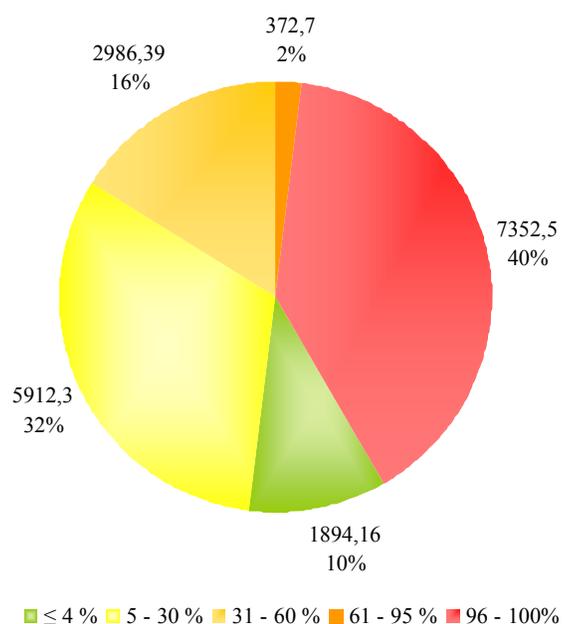


Figura 14 – Área total (ha) das cangas (n = 325) no Quadrilátero Ferrífero distribuída por classes de perda de hábitat.

As maiores alterações na frequência de cangas, por classe de tamanho, foram observadas em afloramentos entre 50,1 ha até 100 ha e entre 100,1 ha até 500 ha, ambas as classes apresentaram reduções em torno de 50% na frequência quando comparadas com as áreas de referência (Figura 15).

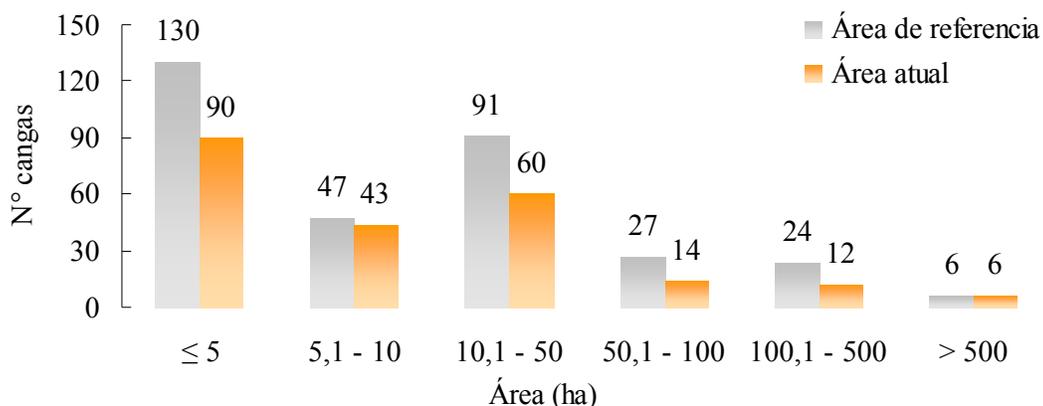


Figura 15 – Número de cangas “originais” (n = 325) e número atual (n = 225), por categoria de tamanho.

As maiores perdas absolutas ocorreram em cangas localizadas no Sinclinal Alegria com a destruição de 1.891 ha, seguidas pelas cangas situadas nos Sinclinais Gandarela (1.453 ha), Moeda (1.386 ha) e na Serra do Curral (1.217 ha), Figura 16. Considerando as perdas relativas, a maior alteração da paisagem foi observada no Sinclinal Ouro Fino com mais de 75% das áreas de cangas destruídas, seguido pelo Sinclinal Alegria com cerca de 61%, pela Serra do Curral com perdas de 57% e o Sinclinal Moeda com 45%. O Sinclinal Gandarela, ainda abriga a maior área desses afloramentos no QF, com aproximadamente 40% do total das áreas remanescentes, seguido pelo Sinclinal Moeda com 15%, pela região de Chapada de Canga com 11,5% e pelo Sinclinal Alegria com 11% (Tabela 6).

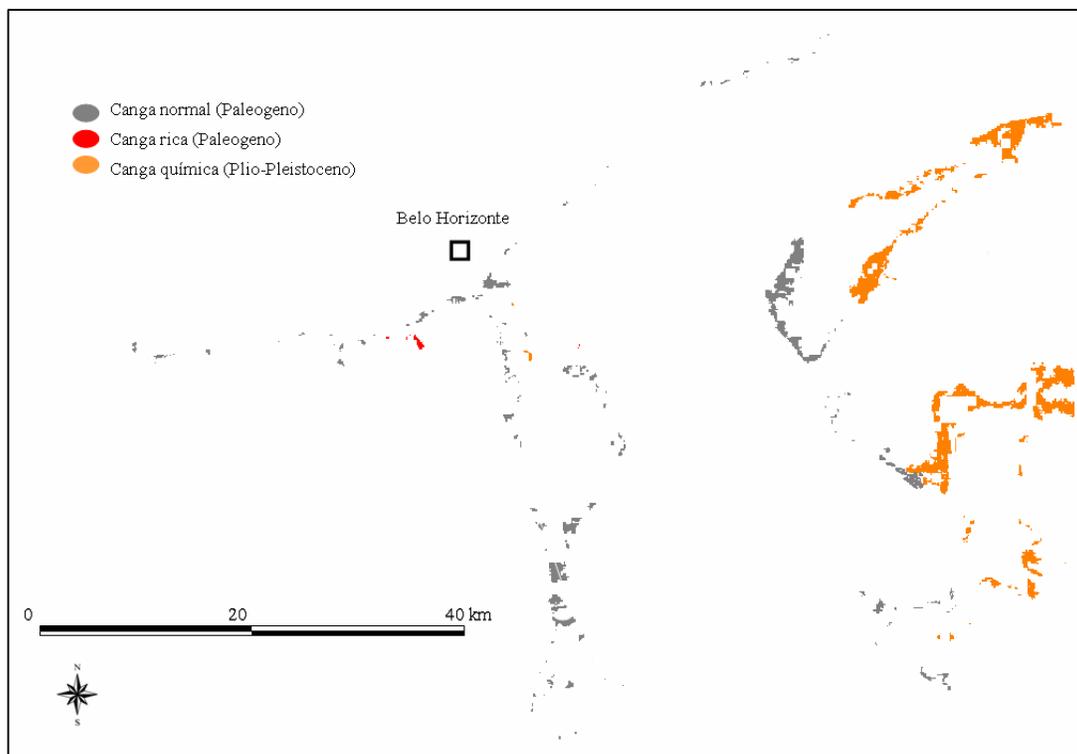


Figura 16 – Distribuição atual das cangas (n = 225) no Quadrilátero Ferrífero, MG. Adaptado de Lobato *et al.* (2005).

A mineração foi o principal agente causador de perdas de cangas, eliminando 6.243 ha (Figura 17). Como “mineração” foram considerados as lavras de extração, planta industrial, barragens de contenção de rejeitos e pilhas de material estéril. O agente ‘cidade’ agregou os núcleos urbanos. Ferrovias, rodovias e estradas não pavimentadas foram agrupadas no agente ‘estradas’. O agente ‘outros’ agregou os núcleos rurais, linhas de transmissão de energia, silvicultura, instalações e equipamentos de telecomunicações e demais tipos de intervenções não identificadas nos agentes anteriores.

Tabela 6 – Comparação entre as áreas de referência e as áreas atuais de cangas localizadas no Quadrilátero Ferrífero, MG. As linhas pontilhadas indicam os maiores valores de cada coluna.

Localidade	Áreas de Referência (1946-1964)			Áreas Atuais (2002-2009)				
	Área Total das cangas (ha)	Número de cangas	% Área Total	Área Total das cangas (ha)	Perda de área (ha)	Perda de área (%)	Número de cangas	% Área Total
Chapada de Canga	1.683,2	6	9,1	1.285,3	398,0	23,6	4	11,5
Serra do Curral	2.124,5	68	11,5	907,5	1.217,0	57,3	54	8,1
Sinclinal Alegria	3.107,2	12	16,8	1.215,8	1.891,4	60,9	9	10,9
Sinclinal Conta História	311,8	8	1,7	296,9	14,8	4,7	7	2,7
Sinclinal Dom Bosco	710,5	52	3,8	392,1	318,5	44,8	28	3,5
Sinclinal Gandarela	5.990,5	25	32,3	4.536,8	1.453,7	24,3	20	40,6
Sinclinal Moeda	3.068,8	131	16,6	1.682,5	1.386,3	45,0	84	15,1
Sinclinal Ouro Fino	398	7	2,1	98	300,0	75,4	6	0,9
Outros	1124,0	16	6,1	757,8	366,2	32,6	13	6,8
Total	18.518,6	325	100	11.172,7	7.346,0		225	100

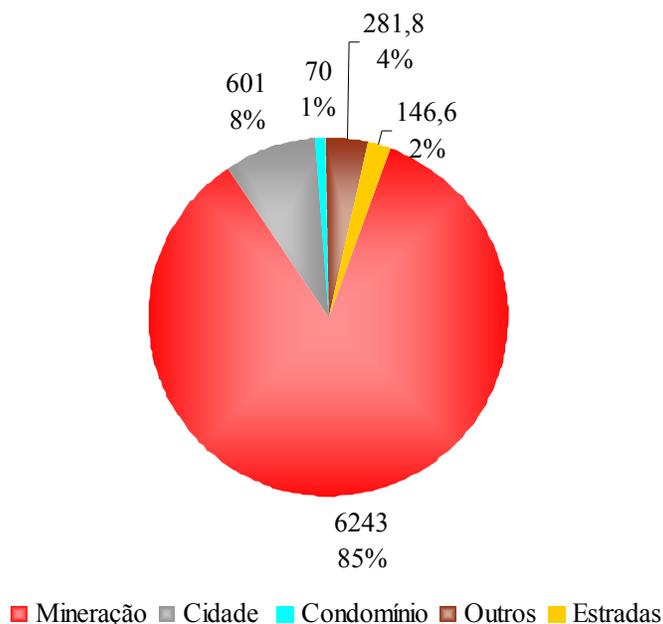


Figura 17 – Principais agentes causadores de perdas de cangas no Quadrilátero Ferrífero, MG.

As perdas de áreas em cangas por tipos geológicos foram similares, sendo observadas perdas de 39,5% nas ‘cangas químicas’, perdas de 40% no tipo ‘canga normal’ e perdas de 43% nas ‘cangas ricas’. As perdas em cangas por idades geológicas, Plio-Pleistoceno e Paleogeno, também foram semelhantes, com 40% de perda em ambos (Figura 16).

Índice de Vulnerabilidade

A mineração, principal agente causador de perdas de áreas de cangas, foi a fonte de degradação utilizada para o índice de vulnerabilidade. Apesar de vários componentes como a pilha de estéril e a planta industrial integrarem o indicador ‘mineração’, apenas as cavas de extração de minério de ferro (Figura 18) foram consideradas para a estimativa. Assim, para cada canga foi calculada a distância linear entre sua borda e a “borda” da cava de extração mais próxima.

Os 225 afloramentos que ainda persistem estão a uma distância linear média de 1,3 km ($\pm 1,6$ km) de uma cava, onde a maior distância mensurada foi de 9,3 km.



Figura 18 – Perdas de áreas de cangas e alterações na paisagem provocadas pela extração de minério de ferro. **A** -: Serra da Piedade (Disponível em: www.caetemh.com); **B** - Serra do Itabirito. O Pico do Itabirito está indicado pela seta. Adaptado de Rosière *et al.* (2005); **C** - Serra do Itatiaiuçu, extremo oeste do Quadrilátero Ferrífero.

Cerca de 102 cangas distam até 0,5 km de uma cava de extração, compondo uma área total de 8.714,7 ha (Figura 19).

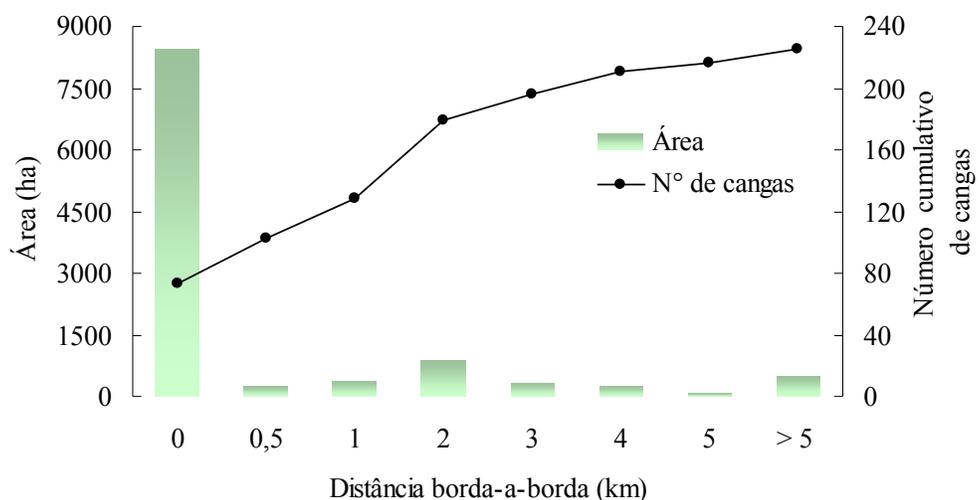


Figura 19 – Áreas remanescentes de cangas (n = 225) de acordo com a proximidade de uma cava de extração de minério.

Apenas 26 afloramentos foram classificados como Quase Ameaçados, totalizando uma área de 700 ha, ou 6% da ocorrência atual de cangas no QF (Figura 20; Tabela 7). Estas áreas localizam-se principalmente ao leste dos Sinclinais Gandarela e Dom Bosco, no Sinclinal Conta História/Serra de Capanema e na Chapada de Canga.

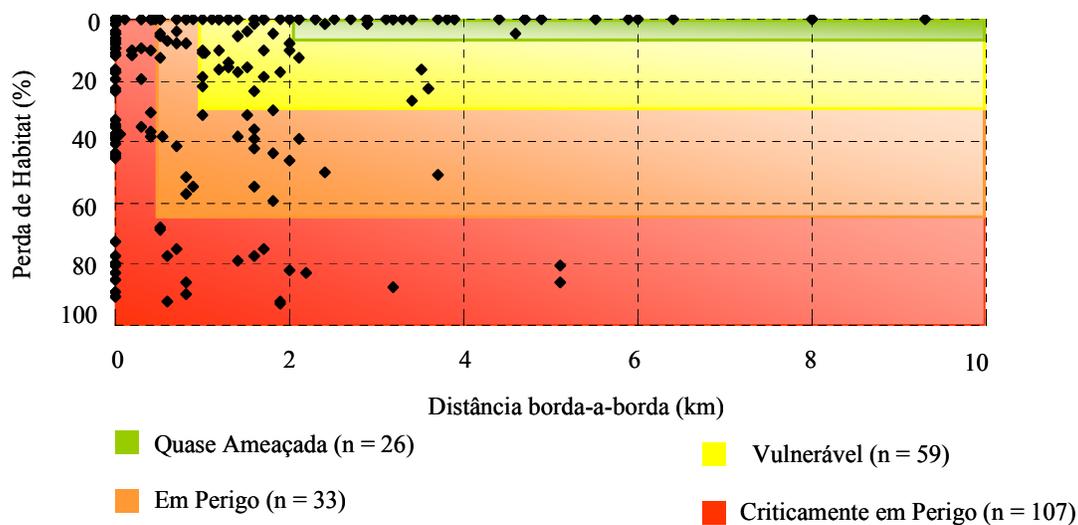


Figura 20 – Cangas atuais (n = 225) classificadas de acordo com o índice de vulnerabilidade.

As cangas criticamente em perigo representaram 80% das áreas remanescentes.

Tabela 7 – Índice de Vulnerabilidade das cangas no Quadrilátero Ferrífero, MG.

Categoria	Área Atual (ha)	Porcentagem	Número de cangas
Quase Ameaçado	700	6	26
Vulnerável	1.109	10	59
Em Perigo	447,5	4	33
Criticamente em Perigo	8.915,5	80	107
Total	11.172	100	225

O conjunto das cangas no Quadrilátero Ferrífero, de acordo com o índice de vulnerabilidade, foi classificado como Criticamente em perigo.

4.2.2 – Elaboração e aplicação de um protocolo de avaliação ambiental

A área total das 34 cangas avaliadas em campo foi de 4.891 ha, abrangendo 44% da área atual na região. Apenas uma canga (0,5% da área total avaliada) localizada na Serra de Capanema foi classificada como Relativamente Estável. Na categoria Vulnerável classificaram-se 18 cangas (seis em parques estaduais, seis na Serra da Moeda, três na S. Capanema, duas na S. Gandarela, e uma na S. Piedade), 11 cangas estão Em Perigo (S. Moeda, S. Itatiaiuçu, P.E. Rola Moça, S. Gandarela, S. Piedade e Chapada de Canga com uma canga cada; três em Ouro Preto, duas no Morro do Tamanduá) e quatro foram classificadas como Criticamente em Perigo (três cangas na S. Itatiaiuçu e uma canga na S. Curral). As áreas correspondentes a cada categoria estão representadas na Figura 21.

De acordo com o protocolo de avaliação ambiental, a atual situação do conjunto das cangas no Quadrilátero é preocupante, sendo classificadas como Em Perigo.

No item ‘Grau de Ameaça’, o indicador distúrbios no entorno foi observado em todas as 34 cangas avaliadas. Os indicadores que apareceram com uma frequência acima de 80% foram a mineração, o fogo, plantas exóticas invasoras, estradas e distúrbios na canga. O indicador núcleos urbanos foi observado em 67% das cangas e o indicador agropecuária foi observado em 18 cangas, ou 53% do total.

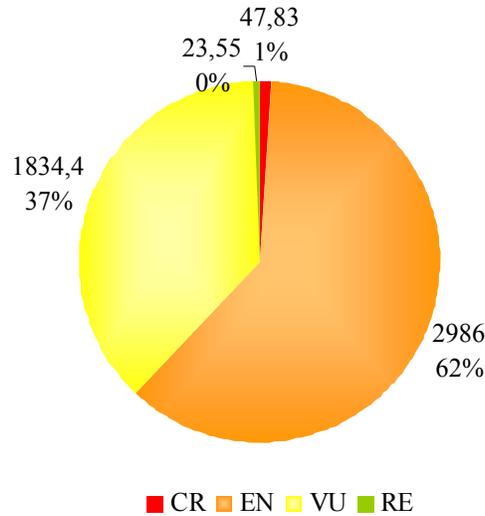


Figura 21 – Total das áreas (ha) das 34 cangas avaliadas e suas respectivas categorias de ameaça. CR: Criticamente em perigo (n = 4); EN: Em perigo (n = 11); VU: Vulnerável (n = 18); RE: Relativamente estável (n = 1).

Os agentes mais frequentes foram a mineração (principalmente o componente ‘cava’), o fogo, gado bovino e eqüino e plantas exóticas invasoras, principalmente as Poaceae *Melinis minutiflora* P. Beauv. e *Urochloa* spp. As cangas localizadas em UC de proteção integral somaram 17% do total avaliado, ou sete afloramentos, constituindo menos de 250 ha.

No item ‘Qualidade Ambiental’, metade das cangas avaliadas continha quatro ou cinco tipos de ambientes. No indicador Fitofisionomias, a representatividade de pelo menos cinco tipos foi observada no entorno de 12 cangas (35%), o que sugere uma maior riqueza e provável intercambio de espécies nativas entre os afloramentos ferruginosos e a matriz. No outro extremo, uma menor representatividade de tipos fisionômicos, máximo de dois tipos, foi observada em apenas três cangas (9%). A maioria dos afloramentos (19 cangas ou 55%) continha três ou quatro tipos fisionômicos no entorno.

Calculou-se a contribuição média dos indicadores agrupados por categoria de ameaça, lembrando que no presente sistema de classificação as notas maiores representam a pior situação, o maior grau de ameaça ao afloramento (Figura 22). As cangas classificadas nas três categorias de ameaça obtiveram, geralmente, as maiores pontuações em todos os 13 indicadores. Foi observado um acréscimo nas notas médias dos indicadores da categoria vulnerável até a criticamente em perigo. A categoria relativamente

estável pontuou em apenas três dos nove indicadores de grau de ameaça e em dois dos três indicadores de ‘Qualidade Ambiental’. Somando as notas médias dos indicadores, pode-se observar a contribuição média desses itens em cada categoria de ameaça (Figura 23).

Na categoria relativamente estável os três itens contribuíram de forma similar na pontuação final do protocolo. Porém, nas categorias de ameaças, o item com o maior peso na pontuação final foi ‘Grau de Ameaça’.

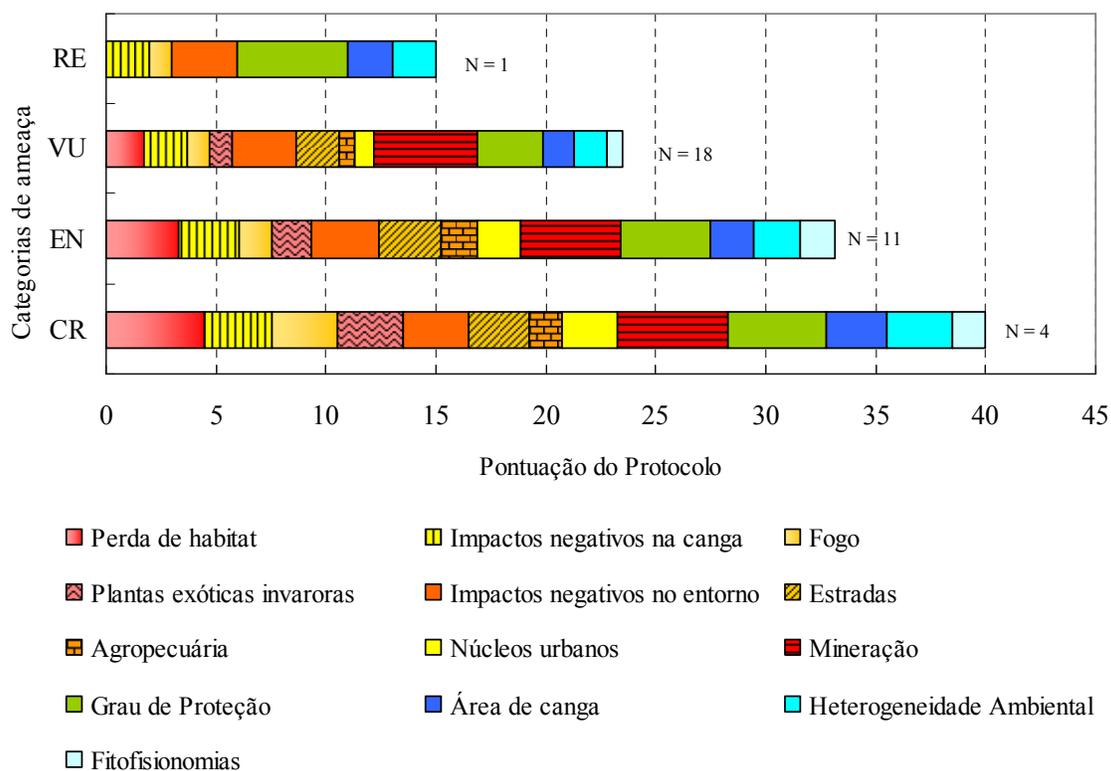


Figura 22 – Contribuição média dos indicadores agrupados por categoria de ameaça. CR: Criticamente em perigo. EN: Em perigo; VU: Vulnerável; RE: Relativamente estável. N = 34 cangas avaliadas.

Grau de Ameaça Iminente

O estado final de conservação das cangas foi determinado após a integração dos dados sobre o grau iminente de ameaça, composto por três categorias (Tabela 2), e comentados a seguir.

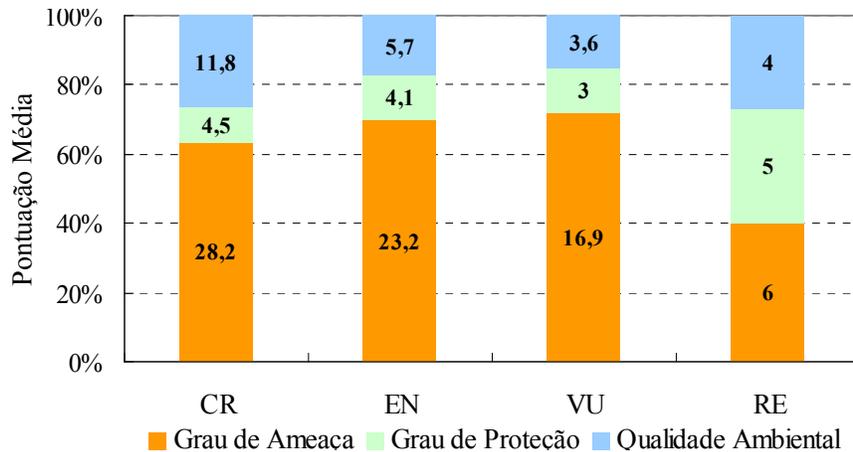


Figura 23 – Notas médias dos três itens avaliados no protocolo, por categoria de ameaça. CR: Criticamente em perigo (n = 4 cangas); EN: Em perigo (n = 13 cangas); VU: Vulnerável (n = 16 cangas); RE: Relativamente estável (n = 1 canga).

O grande número de títulos minerários de ferro distribuídos na região (DNPM/SIGMINE, 2009) abarcam praticamente todas as cangas do **QF** (Figura 24) o que demonstra a grande ameaça a estes ambientes. A maioria desses títulos refere-se a processos de concessão de lavras, ou seja, representam localidades onde a atividade de extração já está sendo desenvolvida ou será desenvolvida em um curto prazo.

As estimativas dos investimentos previstos para o setor de mineração de ferro para os próximos cinco anos fornecem dados sobre as intenções de expansão em Minas Gerais. Mais de US\$ 14 bilhões serão investidos na criação e expansão das minas de extração, em logística e na criação de plantas industriais de empreendimentos localizados no **QF**, o que representa 83% do investimento de todo o setor mineral no estado (IBRAM, 2008; 2009). Os principais municípios localizados no **QF** contemplados pelos investimentos serão Caeté, Itabirito, Brumadinho, Itaúna, e Itatiaiuçu (IBRAM, 2009). Portanto, a categoria ‘Ameaças de Conversão de Hábitat’ obteve nota máxima, ou 50 pontos.

Além do impacto direto da cava de mineração, o desenvolvimento do processo de extração mineral e a implementação da planta industrial também causam grandes impactos, oriundos, por exemplo, do tráfego intenso de caminhões e máquinas pesadas.

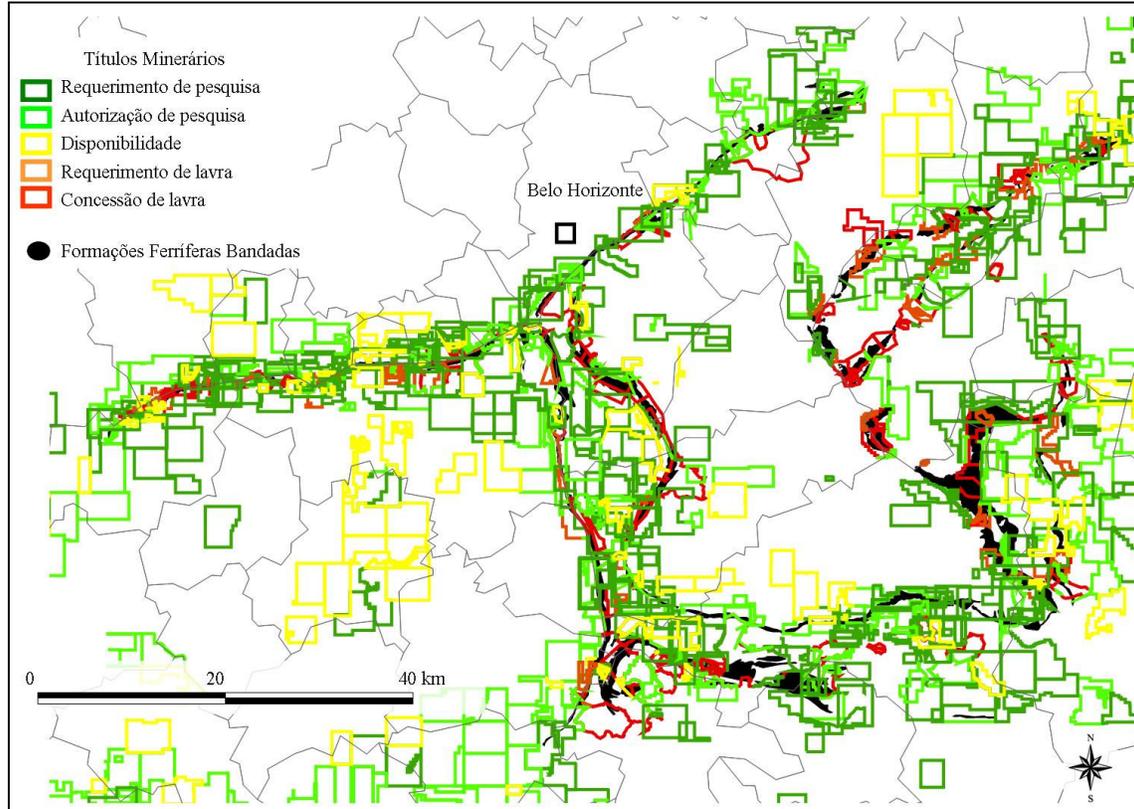


Figura 24 – Títulos minerários para ferro em regiões de cangas e formações ferríferas bandadas no Quadrilátero Ferrífero, MG.

A utilização de espécies exóticas e invasoras para a estabilização de taludes e recuperação de áreas degradadas (Toy & Griffith, 2001) ainda ocorre em empreendimentos na região. Estas fontes de distúrbio contribuem para a alteração e/ou diminuição da qualidade ambiental podendo alterar processos em nível de ecossistemas, comunidades e populações de espécies nativas (Toy *et al.*, 2001; Whiting *et al.*, 2002; Fernandes *et al.*, 2008). Portanto, a categoria ‘Ameaça de Degradação’ atingiu uma nota máxima, ou 30 pontos.

A categoria ‘Exploração da Vida Selvagem’ atingiu 10 pontos. Frequentemente são coletadas plantas para o comércio ilegal na região, principalmente indivíduos de espécies-alvo como bromélias, orquídeas e briófitas.

Somando-se as notas das três categorias comentadas anteriormente, totalizando 90 pontos numa escala máxima de 100, determinou-se para as cangas um alto e iminente grau de

ameaça que, por sua vez, determinou o avanço da categoria de ameaça Em Perigo (classificação de acordo com a aplicação do protocolo de avaliação ambiental) para um nível acima. Portanto a avaliação final do estado de conservação do conjunto das cangas no QF classificou-as como Criticamente em perigo.

4.2.3 – Diagnóstico Ecorregional e Priorização para a Conservação

Índice de ameaça ambiental

A pontuação dos seis parâmetros que integraram o índice de ameaça ambiental (Tabela 3) será comentada a seguir.

A Perda de Hábitat em cangas no QF representou 40% da área de referência, obtendo uma nota máxima de 20 pontos neste critério.

Apenas sete afloramentos com áreas maiores do que 50 ha foram considerados para a análise de Blocos Remanescentes. A área total destes afloramentos atinge cerca de 1.100 ha ou 9,8 % da área de ocorrência de cangas no QF. Portanto este parâmetro obteve nota 15.

O critério Fragmentação Ambiental atingiu 10 pontos. Com a extinção de 100 afloramentos ferruginosos, ou cerca de 31% das cangas, e uma redução da área média quando comparado com as áreas de referência de 57 ha (± 220 ha) para 49,7 ha ($\pm 171,3$ ha) houve uma alteração do arranjo espacial dos afloramentos. Em localidades como a Serra do Curral e o Sinclinal Moeda esta alteração provocou relevantes distensões nas distâncias entre as cangas.

Uma pontuação máxima também foi atingida no parâmetro Degradação Ambiental, obtendo 10 pontos. Apenas 17% da área total de cangas abarcam afloramentos com perdas menores do que 4% de sua área original. Alterações no entorno também foram consideradas, uma vez que as proximidades das principais fontes de degradação ambiental, a saber, cavas de extração de minério, distam em média 1,3 km \pm 1,6 km das cangas. Contribui também para a degradação ambiental o fogo e plantas exóticas invasoras, ambos frequentemente associados aos afloramentos.

Para o cálculo de Conversão de Hábitat foram avaliados 25 documentos (23 Pareceres Únicos - SUPRAM e dois Estudos de Impactos Ambientais) relacionados a empreendimentos

de mineração de ferro. As taxas de conversão para os próximos anos foram estimadas em 2,2% ao ano, obtendo 8 pontos neste parâmetro, com uma previsão de perda e de degradação de aproximadamente 1.200 ha de cangas localizadas principalmente nas Serras de Itabirito, Tamanduá e Gandarela.

Atualmente oito cangas classificadas como ‘intactas’ estão protegidas em unidades de conservação de proteção integral, representando 1,5% de toda a área remanescente no **QF**. Neste parâmetro, Grau de Proteção, foi obtido uma nota de 8 pontos. Portanto, somando-se as notas dos parâmetros, a pontuação total do índice de ameaça ambiental das cangas no **QF** foi de 71 pontos, classificando-as neste primeiro momento na categoria Em Perigo.

Para a classificação final das cangas foram consideradas as ameaças iminentes apresentadas anteriormente (item 4.2.2 elaboração e aplicação de um protocolo de avaliação ambiental). Dessa forma, a classificação das cangas com um grau alto de ameaça iminente, provocou um avanço na categoria de ameaça. Portanto a avaliação final do estado de conservação das cangas no **QF** classificou-as como Criticamente em perigo.

Avaliação da prioridade para a Conservação das Cangas no Quadrilátero Ferrífero

Para que as áreas de cangas, ou de outros ambientes naturalmente disjuntos, encontradas em vários biomas e que compartilham comunidades naturais localizadas em importantes províncias minerais do país, pudessem ser adequadamente classificadas a partir da matriz de integração elaborada por Dinerstein *et al.* (1995), o presente trabalho propôs uma reorganização no esquema de hierarquização incluindo um novo tipo principal de ecossistema – Ecosistemas Metalíferos – e um novo tipo principal de hábitat – Cangas.

Desta forma, as cangas foram classificadas como Biorregionalmente Notáveis. Porém, como o **QF** contém uma das maiores ocorrências de cangas do Brasil e uma das maiores ocorrências mundiais das formações ferríferas bandadas, formações a que as cangas estão geneticamente associadas (Castro, 2008), o conjunto das cangas localizadas no **QF** foram classificadas como áreas de extrema prioridade para a conservação em escala regional.

4.3 – Proposta de áreas-alvo para a investigação da diversidade biológica e identificação de áreas prioritárias para a conservação das cangas em Minas Gerais

Além do Quadrilátero Ferrífero, as principais regiões de formações ferríferas bandadas – FFB – relacionadas a depósitos de minério de ferro ocorrem nos municípios de Riacho dos Machados, Porteirinha, Rio Pardo de Minas e Grão-Mogol (Depósitos do Rio do Peixe Bravo/Porteirinha); Conceição do Mato Dentro, Alvorada de Minas, Serro e Morro do Pilar (Depósito do Morro do Pilar); Guanhães; e Fortaleza de Minas. Os títulos minerários de ferro sobrepõem completamente quatro destas regiões, com exceção da região de Fortaleza de Minas com cerca de 50% de sobreposição (Figura 25).

Exceto as localidades de Guanhães e Fortaleza de Minas, respectivamente contidas nas regiões administrativas do Vale do Rio Doce e Sudoeste do estado, todas as outras estão inseridas na Cadeia do Espinhaço. O Quadrilátero constitui o extremo sul da Cadeia do Espinhaço, Conceição do Mato Dentro e Morro do Pilar localizam-se na região da Serra do Cipó, Alvorada de Minas e Serro localizam-se no Planalto de Diamantina e Riacho dos Machados, Porteirinha, Grão-Mogol e Rio Pardo de Minas localizam-se ao norte do Espinhaço Mineiro, próximos da Serra de Grão-Mogol.

Existem registros de cangas nas regiões de Riacho dos Machados, Porteirinha, Rio Pardo de Minas e Grão-Mogol, onde ocupam uma área aproximada de 1.700 ha (área estimada a partir de Vilela, 1986) e nas regiões de Alvorada de Minas e Conceição do Mato Dentro, onde ocupam uma área de pelo menos 730 ha distribuídos em cerca de 12 km de extensão nas Serras do Sapo e Ferrugem (SISEMA/Parecer Único, 2008). Não foram encontrados registros de cangas na literatura especializada para as regiões de Guanhães e de Fortaleza de Minas.

Além do Quadrilátero Ferrífero, as localidades de Conceição do Mato Dentro, Morro do Pilar, Alvorada de Minas e Serro foram às que apresentaram vulnerabilidade alta. As localidades de Guanhães, Riacho dos Machados, Porteirinha, Rio Pardo de Minas e Grão-Mogol apresentaram vulnerabilidade média. A região de Fortaleza de Minas não foi considerada vulnerável, de acordo com os critérios definidos.

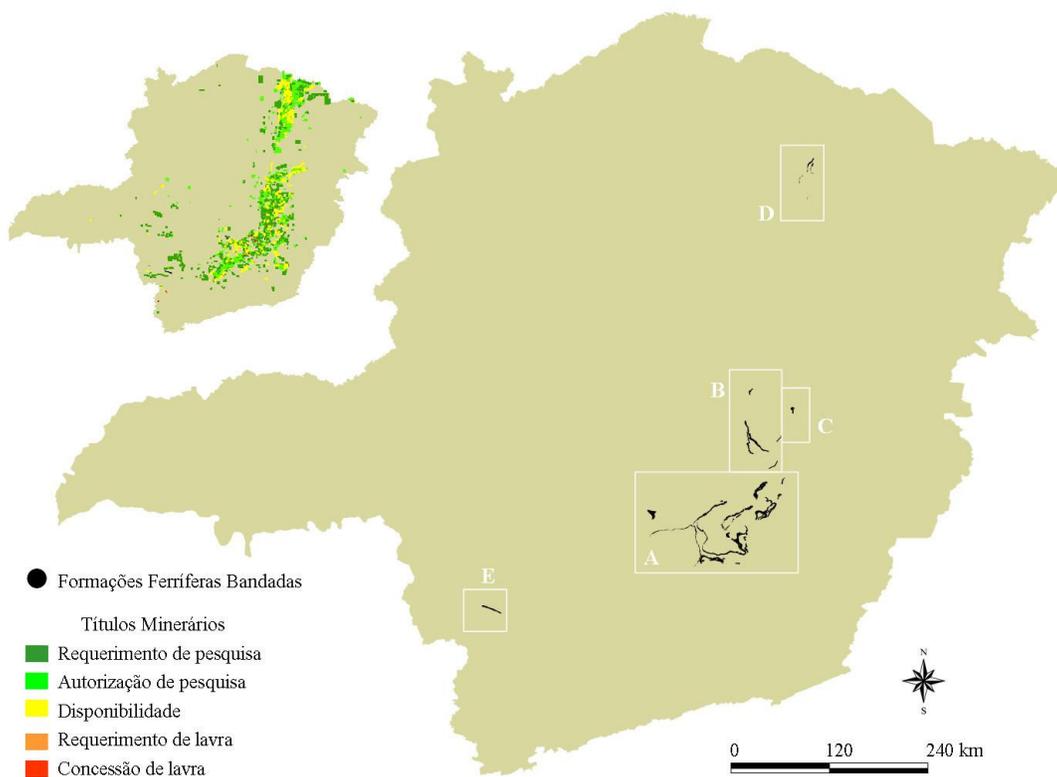


Figura 25 – Títulos minerários e os principais depósitos de minério de ferro associados às formações ferríferas bandadas em Minas Gerais. Regiões: A – Quadrilátero Ferrífero; B – Conceição do Mato Dentro, Alvorada de Minas, Serro e Morro do Pilar; C – Guanhães; D – Riacho dos Machados, Porteirinha, Rio Pardo de Minas e Grão-Mogol; E – Fortaleza de Minas.

As 36 Áreas-Chave para a Conservação da Biodiversidade – ACBs – que contêm títulos minerários de ferro representam 32% de todas as ACBs do estado. Das 36 ACBs, 21 contêm, além dos títulos minerários, as FFB e/ou cangas, onde 12 ACBs localizam-se na região do Quadrilátero, cinco ACBs na região de Conceição do Mato Dentro, Alvorada de Minas, Serro e Morro do Pilar e quatro na região de Riacho dos Machados, Porteirinha, Rio Pardo de Minas e Grão-Mogol. Nas regiões de Guanhães e Fortaleza de Minas não foram identificadas ACBs (Figura 26).

No estado de Minas Gerais apenas duas unidades de conservação de proteção integral contêm áreas de cangas e/ou formações ferríferas associadas aos principais depósitos de

minério de ferro. Menos de 230 ha estão inseridos no P.E. da Serra do Rola Moça e cerca de 35 ha estão contidos no P.E. do Itacolomi, ambos localizados no Quadrilátero Ferrífero (Figura 26).

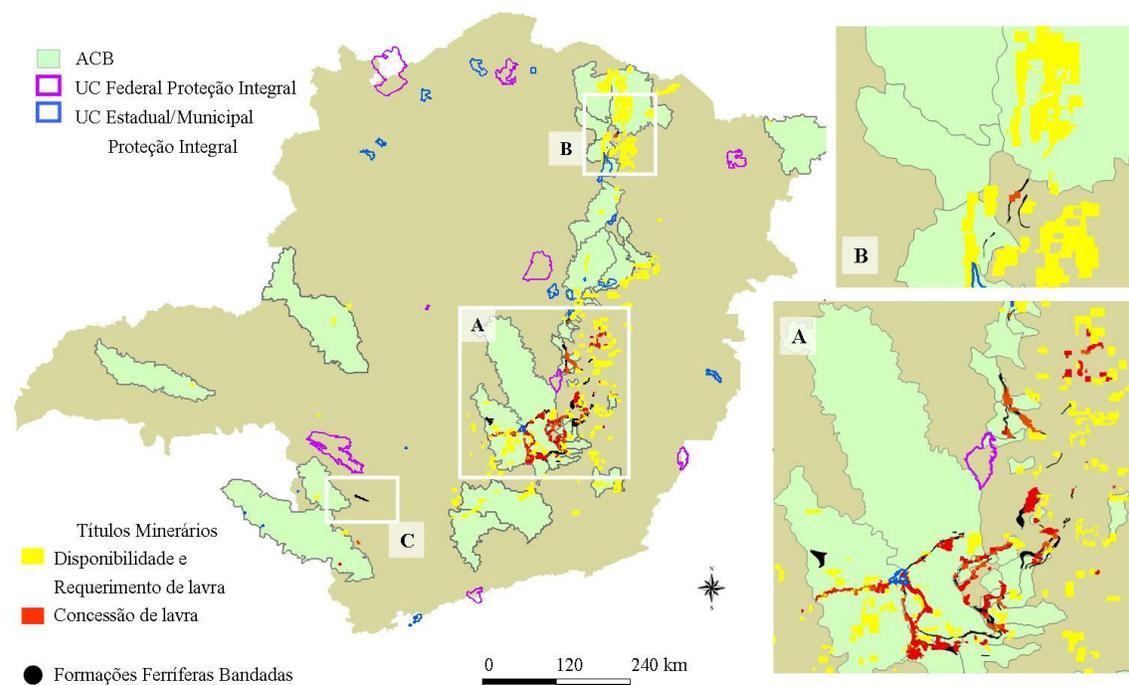


Figura 26 – Sobreposição das Áreas-Chave para a Biodiversidade (Giulietti *et al.*, 2009) que contém títulos minerários de ferro, das unidades de conservação de proteção integral e dos principais depósitos de minério de ferro em Minas Gerais. A – Quadrilátero Ferrífero, Conceição do Mato Dentro, Morro do Pilar, Serro, Alvorada de Minas e Guanhães; B – Riacho dos Machados, Porteirinha, Rio Pardo de Minas e Grão-Mogol; C – Fortaleza de Minas.

Além do Quadrilátero Ferrífero, as regiões metalíferas de Conceição do Mato Dentro, Morro do Pilar, Alvorada de Minas, Serro, Riacho dos Machados, Porteirinha, Rio Pardo de Minas e Grão-Mogol foram consideradas áreas prioritárias para a conservação dos ecossistemas de cangas em Minas Gerais. Nestas localidades, as cangas apresentaram um grau médio a alto de vulnerabilidade, integraram áreas de alto valor para a conservação e não estavam localizadas em UC de proteção integral.

5- DISCUSSÃO

As cangas do Quadrilátero Ferrífero constituem áreas de alto valor para a conservação, de acordo com a avaliação de dois importantes atributos, a raridade e o endemismo de plantas e o serviço do ecossistema ‘recursos hídricos’. O Quadrilátero abriga pelos menos 89 espécies de plantas com alto valor para a conservação, onde várias destas espécies raras e ameaçadas ocorrem exclusivamente em cangas da região. O esboço inicial para atribuir um valor para os serviços ambientais das formações ferríferas bandadas - cujas couraças de cangas funcionam como importantes áreas de recarga hídrica - resultou em valores anuais superiores a um bilhão de reais, quando estimados a partir da vazão específica, e a valores superiores a nove bilhões de reais quando estimados a partir da reserva explotável. Estes atributos, quando analisados em conjunto aos ecossistemas subterrâneos, ambientes alagáveis (lagoas e brejos) e ao patrimônio geoambiental, histórico e arqueológico ratificam a importância intrínseca, material e imaterial das áreas de cangas para a conservação ambiental em Minas Gerais.

O estado geral de degradação ambiental e vulnerabilidade em áreas de cangas no Quadrilátero, avaliado mediante diferentes métodos e critérios, é grave. Todas as avaliações classificaram-nas como Criticamente em perigo (Tabela 8).

Tabela 8 – Síntese das avaliações finais do estado de conservação das cangas no Quadrilátero Ferrífero, MG.

Método	Nº de Descritores	Categoria de Ameaça
Índice de Vulnerabilidade	2	Criticamente em perigo
Protocolo de Avaliação Ambiental	16	Criticamente em perigo
Diagnóstico Ecorregional	9	Criticamente em perigo

A utilização das imagens aéreas disponibilizadas no programa *Google Earth Pro* permitiu uma análise estrutural da paisagem relativamente simples e pragmática, com a intenção de detectar grandes objetos (cavas de mineração) na paisagem. O protocolo elaborado para a avaliação individual das cangas em campo, favoreceu a identificação de objetos (cavernas, lixo ou gado, por exemplo) que provavelmente

não seriam percebidos nas análises baseadas apenas no sensoriamento remoto. Com este refinamento foram avaliados os estados de degradação e de integridade ambiental e identificados os vários agentes de distúrbios tanto no próprio afloramento de canga quanto nos ecossistemas adjacentes. Este protocolo integrou ainda dados de análises espaciais com SIG e as análises das ameaças iminentes. Estes dois métodos – análise estrutural da paisagem e a aplicação do protocolo – forneceram os dados adequados para o diagnóstico ecorregional baseado no estudo de Dinerstein *et al.* (2005), o que permitiu contextualizar o valor de conservação e a vulnerabilidade das cangas com outras áreas latino-americanas relevantes para a conservação da biodiversidade. Assim, de acordo com o diagnóstico o conjunto das cangas no Quadrilátero foi classificado como uma área ‘biorregionalmente notável’ e de ‘extrema prioridade para a conservação em escala regional’.

Com o uso dos três métodos identificou-se a mineração como a principal causa da perda irreversível de 40% (7.342 ha) das áreas de cangas ocorridas em um período de 40 anos. Foram identificadas também as principais causas de degradação das áreas adjacentes e os distúrbios mais frequentes: a mineração, o fogo, o gado, as estradas e as plantas exóticas invasoras.

O grau de degradação não está distribuído de forma homogênea na região. As áreas que apresentaram os estágios de degradação mais avançados, em sua maioria constituindo extensas perdas irreversíveis de hábitat, foram os setores oeste da Serra do Curral (principalmente as regiões das Serras de Itatiaiuçu e dos Três Irmãos); extremo sul do Sinclinal Moeda e a Serra do Itabirito; o setor leste do Sinclinal Gandarela; o Sinclinal Ouro Fino; o Sinclinal Alegria, o setor oeste do Sinclinal Dom Bosco e as áreas de cangas próximas às cidades de Ouro Preto e Mariana. Nestas áreas localizavam-se a maioria das 100 cangas extintas.

Atualmente 102 cangas (8.714 ha) encontram-se a menos de 0,5 km em linha reta de uma cava de extração de minério. Em algumas localidades que apresentaram as maiores perdas de cangas, como a Serra de Itatiaiuçu, o grande número de cavas e de outros componentes da indústria mineral, como a planta industrial, provavelmente tornou a matriz impermeável aos processos ecológicos. Mesmo que as atividades de extração não atinjam diretamente os afloramentos, a degradação das áreas adjacentes já compromete a manutenção dos ecossistemas ferruginosos.

Diversos estudos demonstram que o manejo da matriz é fundamental para a manutenção da conectividade (Beier & Noss, 1998) e de processos metapopulacionais (Vandermeer & Carvajal, 2001) e que, portanto, a integridade da paisagem adjacente constitui um dos fatores-chave para a conservação da diversidade biológica (Franklin & Lindenmayer, 2009).

Cerca de 83% da extensão total das cangas remanescentes foi constituída por afloramentos que já perderam pelo menos 5% da área, ou seja, grande parcela da área atual é constituída por cangas fragmentadas. Evidências apontam que os ambientes fragmentados são mais susceptíveis aos efeitos negativos de distúrbios (Walter, 2004). Além disso, Hobbs & Huenneke (1992) comentam que a interação entre o fogo, o gado e as espécies exóticas invasoras causa grandes impactos nas comunidades naturais, impactos estes que aumentam a invasibilidade naquelas comunidades. Em vista disso, o banimento das Poaceae *Melinis minutiflora* e *Urochloa* spp. na “recuperação” ambiental de áreas degradadas e o controle das suas populações em áreas invadidas, um manejo adequado do fogo e o controle do gado podem constituir medidas efetivas para a redução desses impactos nas áreas de cangas.

As alterações na paisagem provocaram o aumento nas distâncias entre os afloramentos e uma redução das áreas médias das cangas em cerca de 13%. Atualmente cerca de 40% das cangas (90 afloramentos) possuem áreas menores do que 5 ha. Funcionalmente, estes pequenos afloramentos contribuem com a conectividade, servindo de pontos de ligação, ‘stepping stones’, para o fluxo ecológico entre as áreas (Chetkiewicz, 2006), além de abrigarem populações de espécies raras, endêmicas e ameaçadas. Recomenda-se um monitoramento nestas cangas para avaliar a integridade funcional e, em áreas privadas, recomenda-se um programa de monitoramento e preservação.

Algumas localidades, mesmo apresentando ameaças iminentes (sobreposição aos títulos minerários, proximidade com núcleos urbanos ou estradas, por exemplo), abrigam cangas consideradas com baixo grau de degradação, sendo freqüentes áreas consideráveis de vegetação natural no entorno dos afloramentos ferruginosos. Estas cangas localizam-se no Sinclinal Conta História/Serra de Capanema, no sul da Serra da Moeda (entre os municípios de Itabirito, Moeda e Belo Vale) e em algumas áreas do Sinclinal Gandarela e Chapada de Canga. Considerando o estado geral de degradação e a ameaça iminente do conjunto das cangas no Quadrilátero, todas estas localidades são consideradas áreas prioritárias para a conservação desses ambientes no Quadrilátero Ferrífero (Figura 27). Estas regiões abarcam as

cangas dos tipos ‘normal’ e ‘química’ – localizadas em altitudes de 900 até 1.880 m – e que abrigam várias lagoas, brejos e sistemas subterrâneos. Além destas, recomenda-se que as cangas localizadas nas zonas de amortecimento das unidades de conservação de proteção integral também sejam priorizadas e que medidas de proteção e manutenção sejam adequadamente integradas aos planos de manejo.

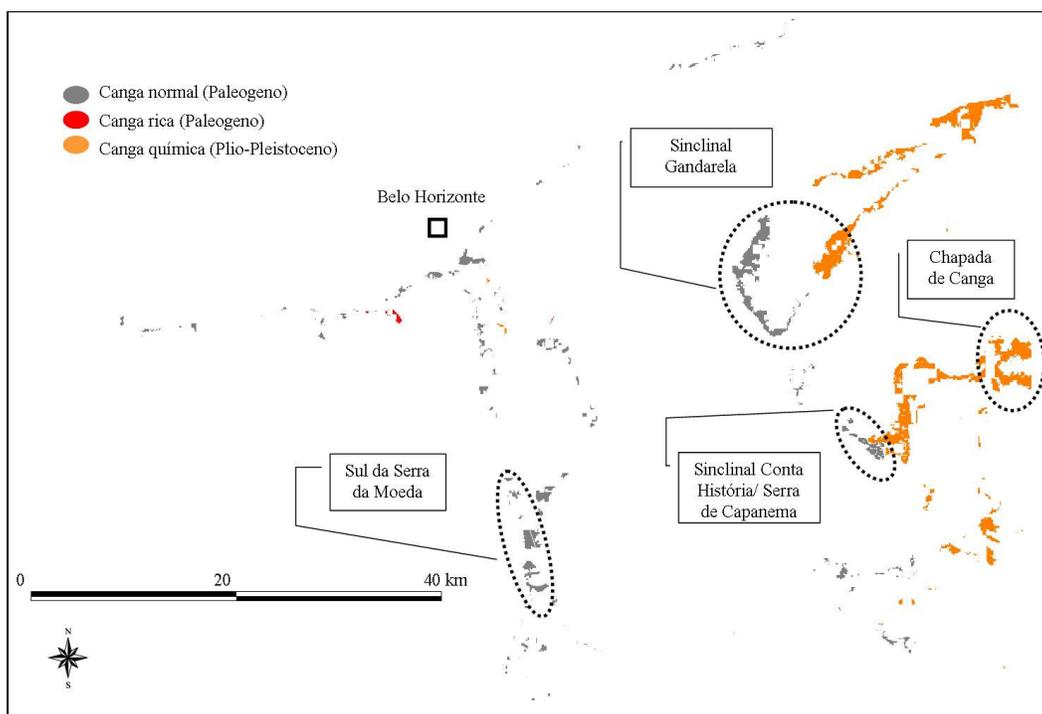


Figura 27 – Distribuição atual das cangas e a localização das áreas prioritárias para a conservação no Quadrilátero Ferrífero, MG.

O refinamento na mensuração e na localização da biodiversidade, na mensuração dos benefícios de sua conservação e nos padrões de ameaças de degradação é imprescindível para que os tomadores de decisão possam priorizar adequadamente as futuras áreas protegidas (Margules & Pressey, 2000; Dinerstein *et al.*, 2005). Nesse sentido, o refinamento da localização espacial de algumas espécies de plantas que ocorrem no Quadrilátero e a mensuração de serviços ecológicos poderão gerar benefícios não só para as espécies individuais, como para os ecossistemas em que ocorrem.

Seguindo o critério B1 de distribuição restrita (IUCN, 2001), adotado para a elaboração da lista vermelha da flora ameaçada de extinção de Minas Gerais (Biodiversitas, 2007), 42 espécies de alto valor para a conservação (Tabela 5) podem ser consideradas

ameaçadas na categoria vulnerável, pois a extensão de ocorrência destas espécies limita-se aos 7.200 km² de área do Quadrilátero. Destas 42 espécies, 24 não estavam citadas naquela lista e 18 espécies foram citadas como DD (deficiência de dados). A ausência completa das espécies endêmicas ou presumivelmente endêmicas das cangas no Quadrilátero na lista federal da flora ameaçada de extinção, e para algumas espécies na lista estadual, compromete a conservação das espécies e dos ambientes, uma vez que as ‘listas vermelhas’ representam um instrumento legal para a proteção da biodiversidade (Silvano & Segalla, 2005).

No Quadrilátero, a valoração ambiental no sistema geoecológico metalífero, onde as cangas estão incluídas, poderia representar um marco histórico para a conservação da biodiversidade, possibilitando que o capital natural fosse incorporado nas análises de custo-benefício dos empreendimentos e também que fosse incorporado nas medidas compensatórias relacionadas a processos de licenciamento ambiental causadores de significativos impactos ambientais (Lei Federal nº 9985, 2000; May *et al.*, 2000; Camphora & May, 2006).

Um exemplo emblemático da aplicação da valoração ambiental em áreas de cangas poderia ocorrer em um dos maiores empreendimentos de exploração de minério de ferro a ser implementado na Serra do Gandarela, região que constitui um dos maiores remanescentes de cangas no Quadrilátero, portando de grande relevância ambiental. O empreendedor pagou US\$ 0,10 por tonelada de reserva medida, e poderá vender a tonelada seca a US\$ 138 (IBRAM, 2008), considerando a cotação de 2008 e a estabilidade futura do mercado. Qual será o valor do passivo ambiental relacionado às perdas irreversíveis das cangas ao final dos 17 anos previstos para a exploração da jazida? A valoração ambiental dos bens e serviços ambientais, como a recarga hídrica, poderia minimizar ou impedir essas perdas, tornando os empreendimentos não lucrativos? De fato, a valoração ambiental poderia auxiliar a sociedade na reflexão acerca da manutenção ou da exploração dos recursos naturais, uma vez que entre os agentes político-econômicos dominantes, geralmente, a conservação ambiental é vista apenas como causadora de perdas econômicas (Romeiro, 2006).

A identificação de áreas prioritárias no Brasil constitui uma das iniciativas para subsidiar a localização de novas unidades de conservação (Rylands & Brandon, 2005). O Quadrilátero Ferrífero integra um conjunto de cerca de 1.560 áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade brasileira (MMA, 2008). O processo de avaliação dessas áreas considerou como alvos de conservação para as áreas analisadas e integrantes do bioma Mata Atlântica – entre essas áreas incluiu-se o Quadrilátero – um total de 409 espécies distribuídas

entre os grupos taxonômicos de invertebrados, peixes, anfíbios, répteis, mamíferos e aves. Como resultado dessa análise, definiu-se como ação prioritária para o Quadrilátero a criação de unidades de conservação (MMA, 2008).

A partir da perspectiva da repartição de recursos, provavelmente as cangas não seriam diretamente contempladas por ações de manejo e conservação subsidiadas por este estudo, pois além da ausência de espécies da flora como alvos de conservação – um dos poucos grupos em que existem alguns trabalhos específicos em cangas – os afloramentos ferruginosos não foram explicitamente ou diretamente citados. Em todas as áreas prioritárias para a conservação de cangas em Minas Gerais existem projetos em andamento para a implementação ou expansão da exploração mineral. No Quadrilátero Ferrífero está em andamento um projeto de reavaliação do potencial mineral com o objetivo, entre outros, de aumentar as descobertas de depósitos minerais (CPRM, 2007). Na região de Grão-Mogol e Rio Pardo de Minas o governo já anunciou o apoio para a construção da infra-estrutura, incluindo um mineroduto para o escoamento da produção projetada para uma das maiores jazidas do estado (IBRAM, 2009). Na região de Conceição de Mato Dentro cerca de 460 ha de cangas - incluindo 23 cavernas ferruginosas - serão destruídos pela implantação de uma cava de extração de minério de ferro (SISEMA, 2008).

O reconhecimento de ecorregiões metalíferas como áreas prioritárias para a conservação, como foi proposto e justificado no presente trabalho, poderá favorecer a elaboração de diretrizes e metas de conservação apropriadas para os ecossistemas que compartilham os tipos e intensidades de impactos relacionados à exploração mineral, bem como compartilham, ou deveriam compartilhar, uma legislação ambiental e planejamento de conservação específicos.

Entre as ações essenciais para a conservação da diversidade biológica está o estabelecimento de um sistema de áreas protegidas, onde medidas especiais precisam ser adequadas para a conservação *in situ* dos ecossistemas e habitats naturais (CDB, 1992). A representatividade dos diversos ecossistemas compõe uma das principais características para que um sistema de unidades de conservação proteja adequadamente parcelas significativas da biodiversidade (Ferreira *et al.*, 2008). Nos últimos 20 anos houve um aumento considerável no número de áreas protegidas no Brasil, representando atualmente cerca de 111.600.000 ha distribuídos entre diversas categorias de conservação federais e estaduais (Rylands &

Brandon, 2005). Em Minas Gerais, no período entre 1999 e 2003, houve um aumento de aproximadamente 120% das áreas protegidas, atingindo cerca de 4.306.600 ha, sendo que as unidades de conservação de proteção integral representaram cerca de 20% deste montante (Drummond *et al.*, 2005). Apesar dos esforços para a criação de novas unidades de conservação, em Minas Gerais menos de 270 ha de cangas ocorrem em UCs de proteção integral. Portanto, os ecossistemas de cangas ainda estão inadequadamente representados nas categorias de proteção integral.

Em todas as áreas prioritárias para a conservação dos ambientes de cangas no estado ainda existem extensas áreas sem grandes alterações na paisagem. A adoção de medidas que reduzam as ameaças iminentes é fundamental para a manutenção dos ecossistemas ferruginosos. Nesse sentido, algumas recomendações e considerações são propostas a seguir.

Com a exceção do Quadrilátero, não existem estudos específicos publicados acerca da vegetação sobre cangas localizadas nas áreas prioritárias para a conservação propostas no presente trabalho. Estas mesmas regiões são identificadas entre as mais importantes para a conservação da flora de Minas Gerais, sendo publicados, entre outros, a flora da Serra do Cipó (Giulietti *et al.*, 1987) e a flora de Grão-Mogol (Pirani *et al.*, 2003). A elaboração de uma flora do Quadrilátero Ferrífero, ou de uma flórua das cangas, poderia não apenas elucidar os aspectos de distribuição das espécies endêmicas e raras como contribuir para análises ecológicas e biogeográficas.

O governo da Austrália, país onde estão localizadas as maiores ocorrências de formações ferríferas bandadas do mundo (Klein, 2005), recentemente organizou um programa específico de inventariamento da flora, estimulado principalmente pela forte correlação entre o valor de conservação daquelas localidades e a rápida expansão da indústria mineral (DEC, 2009). O Brasil, com a segunda maior ocorrência de formações ferríferas bandadas e segundo produtor mundial de minério de ferro, poderia implementar programas semelhantes.

No Quadrilátero Ferrífero existem diversas UCs de uso sustentável que abrangem uma área total aproximada de 250.000 ha (SIAM/SEMAD, 2009) e com a presença de extensas couraças de cangas. Porém, os benefícios trazidos para os ecossistemas ferruginosos localizados em UCs de uso sustentável devem ser reavaliados, pois as cangas são, por vezes, mineradas ou então são removidas para a exploração das jazidas de minério de ferro localizadas abaixo das couraças. De acordo com o Cap. 1, Artigo 2º, XI, (Lei 9985, 2000),

entende-se por uso sustentável:

XI - uso sustentável: exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável.

Os direitos minerários sobrepõem 77% (IBRAM, 2003) dos 172.231 ha da maior UC de uso sustentável da região, a Área de Proteção Ambiental Sul da região metropolitana de Belo Horizonte (SIAM/SEMAD, 2009). Analisando os processos de licenciamento ambiental - considerado um dos principais instrumentos da política ambiental no estado (FEAM, 1998) - de empreendimentos de mineração localizados em UCs de uso sustentável, pode-se constatar que a maioria das solicitações de licenças são outorgadas, ocasionando a constante perda e degradação de cangas localizadas nestas UCs.

Os direitos minerários incidem virtualmente em todas as áreas de cangas localizadas nos principais depósitos de minério de ferro do estado e, por conseguinte, em todos os sistemas geoecológicos ferruginosos. Essa situação, talvez, representa uma das maiores dificuldades de criação de UCs de proteção integral para os ecossistemas de cangas. De acordo com o Parecer DNPM/PROGE (2006), os direitos minerários em unidades de conservação integral criadas após a outorga do alvará de pesquisa, concessão ou extração da lavra poderão ser invalidados mediante o pagamento de indenização pelo Estado através de pessoa jurídica do poder público responsável pela criação da unidade de conservação.

De fato, a falta de recursos financeiros constitui a principal deficiência do sistema estadual de unidades de conservação (Drummond *et al.*, 2005). Essa problemática poderia inicialmente ser solucionada através de iniciativas oriundas do setor privado, principalmente das próprias mineradoras, para o estabelecimento de convênios com a Secretaria de Estado de Meio Ambiente objetivando, por exemplo, o inventariamento de possíveis áreas-alvo para doações. Ou ainda, utilizando-se de recursos financeiros oriundos da compensação ambiental de empreendimentos causadores de significativos impactos ambientais. De acordo com o Art. 36 da Lei 9985 (2000), o empreendedor é obrigado a apoiar a implantação e manutenção de unidade de conservação do Grupo de Proteção Integral quando um empreendimento de sua

responsabilidade causar impactos ambientais significativos. Existem estimativas que indicam um enorme potencial econômico vindo das compensações ambientais que poderiam ser alocadas para a criação de unidades de conservação de proteção integral (Camphora, 2005).

Ao órgão ambiental licenciador compete a identificação, ou a criação, das unidades de conservação a serem beneficiadas pela compensação ambiental (Art. 36, Lei 9985, 2000). Portanto, o reconhecimento, por parte deste órgão, dos ambientes de cangas e dos ecossistemas que neles ocorrem como áreas de alto valor para a conservação da natureza e extremamente vulneráveis, poderia refletir em recursos financeiros destinados especificamente para a proteção destes ameaçados ambientes.

Ainda no âmbito do licenciamento ambiental, sugere-se uma reavaliação crítica da adequação ambiental da utilização das Autorizações Ambientais de Funcionamento – AAF– (Deliberação Normativa n.º 74, de 09 de setembro de 2004) para a regularização ambiental em empreendimentos localizados em áreas de cangas e considerados de impacto ambiental não significativo ou considerados de baixo impacto. Atualmente, os empreendimentos inseridos nas classes 1 e 2 (pequeno e/ou médio porte e pequeno e/ou médio potencial poluidor) estão sujeitos apenas à obrigatoriedade da AAF, e portanto, dispensados dos requerimentos das licenças Prévia, de Instalação e de Operação. Os empreendimentos considerados de baixo impacto significativo estão sujeitos à obrigatoriedade de apresentar somente estudos ambientais de baixa complexidade (Diretiva COPAM, n.º. 2, de 26 de maio de 2009).

No Quadrilátero pelos menos 90 cangas (com áreas menores que 5 ha cada) estão potencialmente sujeitas a integrarem empreendimentos de pequeno ou médio porte (classes 1 e 2). Como anteriormente comentado, estes afloramentos servem como pontos de ligação ‘*stepping stones*’ para o fluxo ecológico e podem abrigar espécies e ambientes (cavernas, por exemplo) de alto valor para a conservação. Esse tipo de informação, que poderia contribuir na análise ambiental, não está disponível ao órgão competente por meio da AAF e provavelmente não estará contemplado em estudos ambientais de baixa complexidade.

Brandon *et al.* (2005) fizeram uma reflexão importante sobre o que eles chamaram de componentes da conservação. “O quê” e “onde” conservar podem ser indicados ou sugeridos através das ferramentas e métodos da Biologia da Conservação, por exemplo. “Como” conservar extrapola o âmbito das ciências biológicas, sendo influenciado pelas dimensões

sociais. Portanto, o benefício atual e futuro trazido da conservação da biodiversidade, das funções do ecossistema, do patrimônio geoambiental e arqueológico e dos serviços ambientais encontrados em cangas e o benefício da exploração dos recursos minerais associados, devem ser enfaticamente ponderados pela sociedade, pois as pressões (presentes e projetadas) nestes ecossistemas podem torná-los funcionalmente extintos.

6 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Sáber, A.N. 2005. *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. São Paulo: Ateliê Editorial, 160 pp.
- Alecrim, J.D. 1982. Recursos Minerais do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: METAMIG, 298 pp.
- 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.
- ALMG – Assembléia Legislativa do Estado de Minas Gerais. 2009. Municípios mineiros. Disponível em: <http://www.almg.gov.br/index.asp?grupo=estado&diretorio=munmg&arquivo=municipios&municipio=30101>. Consulta em 02/11/2009.
- Antunes, F.Z. 1986. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. *Informe Agropecuário*, 138: 9-13.
- Atkins, S. 2005. The genus *Stachytarpheta* (Verbenaceae) in Brazil. *Kew Bulletin*, 60(2):161-272.
- Auler, A. 2006. *Relevância de cavidades naturais subterrâneas: contextualização, impactos ambientais e aspectos jurídicos*. Relatório técnico. Ministério de Minas e Energia (MME) Brasília, 166 pp.
- Auler, A. & Piló, L.B. 2005. Introdução às cavernas em minério de ferro e canga. *O Carste*, 17(3):70-72.
- Baeta, A. & Piló, H. 2005. Arqueologia do Quadrilátero Ferrífero: aspectos preliminares sobre sua ocupação. Estudo de caso do Capão Xavier. *O Carste*, 17(3):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 do Quadrilátero Ferrífero na Escala 1: 50.000 com Nota Explicativa. In: Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa. CODEMIG. Belo Horizonte. DVD.
- Beier, P. & Noss, R.F. 1998. Do hábitat corridors provide connectivity? *Conservation Biology*, 12(6): 1241-1252.
- Beuadette, D.E. & O'Genn, A.T. 2009. Soil-Web: An online soil survey for California, Arizona, and Nevada. *Computers & Geosciences*, 35:2199-2128.
- Biodiversitas. 2007. *Revisão das Listas das Espécies da Flora e da Fauna Ameaçadas de Extinção do Estado de Minas Gerais*. Relatório Final. 36 pp.
- Boggiani, P.C. & Coimbra, A.M. 2002. *Morraria do Puga, MS – Típica associação neoproterozóica de glaciação e sedimentação carbonática*. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D. A.; Queiroz, E. T.; Winge, M.; Berbert-Born, M. L. C. (Edit.) 2002. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP) – Brasília, 73-79.
- Bongaarts, J. 2009. Human population growth and the demographic transition. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 364 : 2985–2990.
- Brandão, M., Gavilanes, M.L., Buendia, J.P.L., Macedo, J.F. & Cunha, L.H.S. 1991. Contribuição para o conhecimento da Cadeia do Espinhaço em Minas Gerais (Serra de Itabirito) - III. *Daphne* 1:39-41.
- Brandon, K.; Fonseca, G.A.B.; Rylands, A.B. & Silva, J.M.C. 2005. Conservação brasileira: desafios e oportunidades. *Megadiversidade*, 1(1): 7-13.
- Brasil. Decreto nº 62934, de 2 de julho de 1968. *Aprova o Regulamento do Código de Mineração*.

- Brasil. Resolução CONABIO n° 3, de 21 de dezembro de 2006. *Dispõe sobre Metas Nacionais de Biodiversidade para 2010*.
- Brasil. Instrução Normativa n° 6, de 23 de setembro de 2008. Lista Oficial das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção.
- Brasil. Lei n° 9985, de 18 de julho de 2000. *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*.
- Callamander, M.W.; Schatz, G.E. & Lowry II, P.P. 2005. IUCN Red List assessment and the Global Strategy for Plant Conservation: taxonomists must act now. *Taxon*, 54(4):1047-1050.
- Camphora, A.L. 2005. *Compensação ambiental no benefício da sustentabilidade econômica do Sistema Nacional de Unidades de Conservação*. Relatório do Grupo Temático de Sustentabilidade Econômica – Forum Nacional de Áreas Protegidas. Brasília, SBF-MMA/Ibama/WWF/TNC/Funbio/CI.
- Camphora, A.L. & May, P.H. 2006. A valoração ambiental como ferramenta de gestão em unidades de conservação: há convergência de valores para o bioma Mata Atlântica? *Megadiversidade*, 2(1/2):24-38.
- Castro, P.T.A. 2008. *Cangas: a influência da geodiversidade na biodiversidade*. In: Simpósio Afloramentos Ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero: Biodiversidade, Conservação e Perspectivas de Sustentabilidade. Belo Horizonte, 30-51 p. CD.
- CECAV – Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas. 2008. Mapa de Potencialidades de Ocorrência de Cavernas Baseada na Litologia. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?id_menu=323
- Chetkiewicz, C.L.B.; Clair, C.C.S & Boyce, M.S. 2006. Corridors for Conservation: Integrating Pattern and Process. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37:317-342.
- CDB – Convenção da Diversidade Biológica. 1992. <http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=72&idConteudo=2868>. Consulta em 20/11/2009.
- COPAM. 2008. Deliberação Conselho Estadual de Política Ambiental, N° 367 de 15 de dezembro de 2008. Disponível em: http://www.ief.mg.gov.br/imagens/stories/biodiversidade/microsoft%20word%20%floraa%20meacada_dn367_2008.pdf. Consulta em 10/11/2009.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2007. Quadrilátero Ferrífero será reavaliado. *Informativo do Serviço Geológico do Brasil*, 4(16):4-5.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2009. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=298&sid=26>. Consulta em 15 de outubro de 2009.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2009. GEOBANK. Disponível em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>. Consulta em 16 de outubro de 2009.
- 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.
- Davis, E.G.; Pinto, E.J.A. & Pinto, M.C.F. 2004. Projeto APA Sul RMBH: estudos do meio físico, hidrologia. Belo Horizonte: SEMAD/CPRM. CD.

- DEC - Department of Environment and Conservation. 2009. Floristic surveys of the Banded Ironstone Ranges. *Information Sheet* 23:1-2.
- Dias, J; Bottura, G; Bacellar-Schittini, A.L.F. & Mercante, M.A. 2006. Geotecnologia de identificação de prioridades para a conservação da biodiversidade: perspectivas e potencialidades do planejamento sistemático da conservação. In: *Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil*. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.602-607.
- Dinerstein, E.; G.J. Schipper & D.M. Olson. 1995. *A Conservation Assessment of the Terrestrial Ecoregions of Latin America and the Caribbean*. WWF, Washington DC, EUA. 177pp.
- DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. 2004. *Informe Mineral*. 25 pp. Disponível em: www.dnpm.gov.br
- DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. 2006. *Anuário Mineral Brasileiro*. Disponível em: www.dnpm.gov.br
- DNPM/PROGE. Parecer nº 146/2006. 2006. *Conflito entre a atividade de aproveitamento mineral e a preservação do meio-ambiente buscada pela criação de áreas de unidade de conservação*.
- DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. 2007. *Anuário Mineral Brasileiro*. Disponível em: www.dnpm.gov.br
- DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. 2008. *Ferro. Sumário Mineral*. Disponível em: www.dnpm.gov.br
- DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. 2009. *SIGMINE: Informações Geográficas da Mineração*. Disponível em <http://sigmine.dnpm.gov.br/>. Consulta em 5 de novembro de 2009.
- Dorr II, J. v. N. 1964. Supergene iron ores of Minas Gerais, Brazil. *Economic Geology*, 59(7): 1203-1240.
- Dorr II, J. v. N. 1969. *Physiographic, stratigraphic and structural development of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. USGS. Prof. Paper, 641-A. Washington. 110 p.
- Drummond, G.M., C.S. Martins, A.B.M Machado, F.A. Sebaio & Y. Antonini (eds.). 2005. *Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação*, 2a. ed. Fundação Biodiversitas, Belo Horizonte, Brasil. 222 p.
- Durigan, G; Ivanauskas, N.M.; Nalon, M.A.; Ribeiro, M.C.; Kanashiro, M.M.; Costa, H.B. & Santiago, C.M. 2009. Protocolo de avaliação de áreas prioritárias para a conservação da Mata Atlântica na região da Serra do Mar/Paranapiacaba. *Revista do Instituto Florestal*, 21(1): 39-54.
- Eken, G.; Bennun, L.; Brooks, T.M.; Darwall, W.; Fishpool, L.D.C.; Foster, M.; Knox, D.; Langhammer, P.; Matiku, P.; Radford, E.; Salaman, P.; Sechrest, W.; Smith, M.L.; Spector, S. & Tordoff, A. 2004. Key biodiversity areas as site conservation targets. *BioScience*, 54: 1110-1118.
- Endo, I; Rosière, C.A. & Chemale Jr., F. 1991. *Roteiro de excursão geológica no Quadrilátero Ferrífero e regiões adjacentes*. Ouro Preto, MG: UFOP, Escola de Minas. 57 p.
- Eterovick, P. C. 2003. Distribution of anuran species among montane streams in southeastern Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 19: 219-228.

- FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. 1998. *A Questão Ambiental em Minas Gerais, discurso e política*. FEAM; Centro de Estudos Históricos e Culturais. Fundação João Pinheiro. Belo Horizonte. 328 pp.
- Fernandes, G.W.; Barbosa, N.P.U. & Mauricio, R.M. 2008. Sierra del Espinazo. 76-80 En: Schüttler, E. & Karez, C.S. (eds). *Especies exóticas invasoras en las Reservas de Biosfera de América Latina y el Caribe*. Un informe técnico para fomentar el intercambio de experiencias entre las Reservas de Biosfera y promover el manejo efectivo de las invasiones biológicas. UNESCO, Montevideo.
- Ferreira, L.V.; Cunha, D.A. & Leal, D.C. 2008. O uso da Ecologia de Paisagens na avaliação da representação das Unidades de Conservação e Terras Indígenas em relação às ecorregiões da costa norte do Brasil. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, 3(2):143-150.
- Ferreira, R.L. 2005. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. *O Carste*, 3(17):106-115.
- Ferreira, R.L. 2008. *Ecossistemas subterrâneos nos campos ferruginosos*. In: Simpósio Afloramentos Ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero: Biodiversidade, Conservação e Perspectivas de Sustentabilidade. Belo Horizonte, 52-65. CD.
- Franklin, J.F. & Lindenmayer, D.B. 2009. Importance of matrix habitats in maintaining biological diversity. *Proceedings of the Academy of Sciences of the United States of America*, 106(2): 349-350.
- Ginocchio, R. & Baker, A. J. M. 2004. Metallophytes in Latin America: a remarkable biological and genetic resource scarcely known and studied in the region. *Revista Chilena Historia Natural*, 77:185-194.
- Ginsburg, J. 2001. The Application of IUCN Red List Criteria at Regional Levels. *Conservation Biology*, 15(5): 1206-1212.
- Girelli, M. 1994. Lajeados com gravuras na região de Corumbá, MS. Dissertação. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. 147 pp.
- Giulietti, A.M.; Menezes, N.L; Pirani, J.R.; Meguro, M. & Wanderley, M.G.L. 1987. Flora da Serra do Cipó, Minas Gerais: caracterização e lista de espécies. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo*, 9: 1-151.
- Giulietti, A.M.; Pirani J.R.; Harley, R.M. 1997. *Espinhaço Range Region, Eastern Brazil, Site SA20*. Centres of plant diversity: South America. Disponível em: <http://botany.si.edu/projects/cpd/sa/sa20.htm>. Consulta em 17/11/2009
- Giulietti, A.M.; Rapini, A.; Andrade, M.J.G; Queiroz, L.P. & Silva, J.M.C. (Org.). 2009. *Plantas Raras do Brasil*. Belo Horizonte, MG. Conservation International, 496 pp.
- Gomes, M.C.A.; Holten, B. & Sterll, M. 2006. *A canção das palmeiras: Eugenius Warming, um jovem botânico no Brasil*. Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte. 248 pp.
- Gontijo, B.M. 2008. Uma geografia para a Cadeia do Espinhaço. *Megadiversidade* 4(1/2): 7-14.
- Gray, M. 2005. Geodiversity and geoconservation. *The George Wright Forum*, 22(3):4-12.
- Griffith, J.J. & Toy, T.J. 2001. Evolution in revegetation of iron-ore mines in Minas Gerais state, Brazil. *Unasylva*, 207(52):9-15.
- Haralyi, N.L.E. & Walde, D.H.G. 1986. Os minérios de ferro e manganês da região de Urucum, Corumbá, Mato Grosso do Sul. In: Schobbenhaus C. & Coelho C.E.S. *Principais Depósitos Mineraiis do Brasil: Ferro e Metais da Indústria do Aço*, 2:127-144. DNPM, Brasília.
- Hels, T. & Buchwald, E. 2001. The effect of road kills on amphibian populations. UC Davis: Road Ecology Center. Disponível em: <http://www.escholarship.org/uc/item/0mf9859v>

- Hobbs, R.J. & Huenneke, L.F. 1992. Disturbances, diversity, and invasion: implications for conservation. *Conservation Biology*, 6:324-337.
- Hockings, M. 2003. Systems for Assessing the Effectiveness of Management in Protected Areas. *Bioscience*, 53(9): 823-831.
- Hoekstra, J.M.; Boucher, T.M.; Ricketts, T.H. & Roberts, C. 2005. Confronting a biome crisis: global disparities of hábitat loss and protection. *Ecology Letters*, 8:23-29.
- Huggett, R.T. 1995. *Geoecology: an evolutionary approach*. London & New York: Routledge. 344 pp.
- IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. 2003. *Contribuição do IBRAM para o zoneamento ecológico-econômico e o planejamento ambiental de municípios integrantes da APA-SUL RMBH*, 322 pp.
- IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. 2008. *Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira*. Disponível em: www.ibram.org
- IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. 2009. *A indústria de mineração em Minas Gerais*. Disponível em: www.ibram.org
- IUCN. 1994. *IUCN Red List Categories*. IUCN. Gland, Switzerland.
- IUCN. 2001. *IUCN Red List categories*. Version 3.1. Prepared by the IUCN Species Survival Commission. World Conservation Union, Gland, Switzerland and Cambridge, United Kingdom.
- 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.
- Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. 2008a. The contribution of ironstone outcrops to plant diversity in the Iron Quadrangle, a threatened Brazilian landscape. *AMBIO* 37 (4): 324-326.
- Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. 2008b. Diversidade dos campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, MG. *Megadiversidade*, 4(1/2):24-32.
- Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. 2008c. *Patrimônio Ecológico: Biodiversidade, Espécies Endêmicas e Ameaçadas*, 59-70 p. In: Patrimônio Natural-Cultural e Zoneamento Ecológico-Econômico da Serra da Moeda: Uma Contribuição para sua Conservação. SINDIEXTRA.
- Jayalaxshmi, M. 1998. A preliminary Lichen Fire History (LFH) Key for the cerrado of the Distrito Federal, central Brazil. *Journal of Biogeography*, 25(3):443-452.
- Jennings, M.D. 2000. Gap Analysis: concepts, methods, and recent results. *Landscape Ecology*, 15:5-20.
- Klein, A.L. (Org.). 2002. *Eugen Warming e o cerrado brasileiro: um século depois*. São Paulo: Editora UNESP; Imprensa Oficial do Estado, 157 pp.
- 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.
- Klein, C. & Ladeira, E.A. 2002. Petrography and geochemistry of the least altered banded iron-formation of the archean Carajás formation, northern Brazil. *Economic Geology*, 97:643-651.
- Leite, F.S.F.; Juncá, F.A. & Eterovick, P.C. 2008. Status do conhecimento, endemismo e conservação de anfíbios anuros da Cadeia do Espinhaço, Brasil. *Megadiversidade*, 4(1/2):182-200.
- Leme, M.C. & C.C. Paula. 2004. Two new species of Brazilian Bromeliaceae. *Vidalia*, 2: 21-29.

- Lewinsohn, T.M. & Prado, P.I. 2005. Quantas espécies há no Brasil. *Megadiversidade*, 1(1):36-42.
- 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.
- 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.
- Lobato, L.M. & Pedrosa-Soares, A.C. 1993. Síntese dos recursos minerais do Cráton São Francisco e Faixas Marginais em Minas Gerais. *Geonomos*, 1(1):51-64.
- Machado, M.M.M. 2009. *Construindo a imagem geológica do Quadrilátero Ferrífero: conceitos e representações*. Tese de Doutorado. 238 p. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Magalhães, M.P. 2006. *O Homem das cavernas de Carajás*. In: João Batista Guimarães Teixeira; Vanderlei de Rui Beisiegel. (Org.). In: Carajás: geologia e ocupação humana. 1 ed. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 91-126.
- Margules C.R. & Pressey R.L. 2000. Systematic conservation planning. *Nature*, 405: 243–253.
- Martins, C.S. 2000. *Caracterização física e fitogeográfica de Minas Gerais*. In: Mendonça, M.P. & Lins, L.V.(orgs). Lista Vermelha das Espécies Ameaçadas de Extinção da Flora de Minas Gerais. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, Fundação Zoo-Botânica de Belo Horizonte.
- Martius, C.Ph.F. von 1906. Flora brasiliensis, vol. 1, Tabulae physiognomicae, prancha L. Disponível em <http://florabrasiliensis.cria.org.br/opus?vol=1>. Consulta em 21/05/2009.
- Maurity, C.W. & Kotschoubey, B. 2005. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 Serra de Carajás – PA. Degradação, pseudocartificação, espeleotemas. *O Carste*, 17(1): 78-91.
- May, P.H.; F. Veiga Neto & O. Chévez. 2000. *Valoração econômica da biodiversidade: estudos de caso no Brasil*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, PROBIO.
- 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: 10-20.
- Meyer, S.T.; da Silva, A.F.; Júnior, P.M. & Neto, J.A.A.M. 2004. Composição florística da vegetação arbórea de um trecho de floresta de galeria do Parque Estadual do Rola-Moça na Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG, Brasil. *Acta bot. bras.* 18(4): 701-709.
- 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. (Edits.) Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. 1. Brasília: DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 1:73-79. Disponível em: <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio086/sitio086.pdf>
- Minas Gerais. Deliberação Normativa n.º 74, de 09 de setembro de 2004. *Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ambiental ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização ambiental e de licenciamento ambiental, e dá outras providências*.

- Minas Gerais. Diretiva COPAM, nº. 2, de 26 de maio de 2009. Estabelece diretrizes para revisão das normas regulamentares do Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM especialmente aquelas referentes aos mecanismos e critérios para a classificação de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente sujeitos à regularização ambiental.
- 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.
- Miranda, E. E. (Coord.). 2005. *Brasil em Relevô.* Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 9 nov. 2009.
- 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.
- Myers, N.; Mittermeier, R.A.; Mittermeier, C.G.; Fonseca, G.A.B. & Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853–858.
- Novacek, M.J. & Cleland, E.E. 2001. The current biodiversity extinction event: Scenarios for mitigation and recovery. *Proceedings of the Academy of Sciences of the United States of America*, 98(10):5466-5470.
- Oliveira-Filho, A.T. 2009. Classificação das Fitofisionomias da América do Sul Cisandina Tropical e Subtropical: Proposta de um novo sistema – prático e flexível – ou uma injeção a mais de caos? *Revista Rodriguésia*, 60(2): 237-258.
- Piacentini, T.; Boggiani, P.C.; Yamamoto, J.K.; Freitas, B.T. & Campanha, G.A.C.C. 2007. Formação ferrífera associada à sedimentação glaciogênica da Formação Puga (Marinoano) na Serra da Bodoquena, MS. *Revista Brasileira de Geociências*, 37(3): 530-541.
- Piló, H. & Baeta, A.M. 2007. *As Ocupações Pré-coloniais nos campos ferruginosos de Minas Gerais.* In: I Simpósio de Arqueologia e Patrimônio, Juiz de Fora. Arqueologia e Patrimônio de Minas Gerais. Juiz de Fora: Editar, p. 109-128.
- Pimm, S.L.; Russel, G.L.; Gittleman, J.L. & Brooks, T.M. 1995. The future of biodiversity. *Science*, 269:347-350.
- Pirani, J.R.; Mello-Silva, R. & Giulietti, A.M. 2003. Flora de Grão-Mogol, Minas Gerais, Brasil. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo*, 21: 1-24.
- Porembski, S. & Barthlott, W. (Eds.). 2000. *Inselbergs. Biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions.* Springer-Verlag, Berlim, 524 pp.
- 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.
- Pressey, R. L. & Taffs, K.H. 2001. Scheduling conservation action in production landscapes: priority areas in western New South Wales defined by irreplaceability and vulnerability to vegetation loss. *Biological Conservation*, 100(3):355-376.
- Rapini, A. 2000. *Sistemática: Estudos em Asclepiadoideae (Apocynaceae) da Cadeia do Espinhaço de Minas Gerais.* Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Rapini, A.; Mello-Silva, R. & Kawasaki, M.L. 2002. Richness and endemism in Asclepiadoideae (Apocynaceae) from the Espinhaço Range of Minas Gerais, Brazil – a conservationist view. *Biodiversity and Conservation*, 11: 1733–1746.

- Rapini, A.; Ribeiro, P.L. & Pirani, J.B. 2008. A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. *Megadiversidade*, 4(1/2): 16-23.
- Rapini, A.; Andrade, M.J.G.; Giulietti, A.M.; Queiroz, L.P. & Silva, J.M.C. 2009. Introdução. In: Giulietti, A.M.; Rapini, A.; Andrade, M.J.G.; Queiroz, L.P. & Silva, J.M.C. (Org.). *Plantas Raras do Brasil*. Belo Horizonte, MG. Conservation International.
- Rios, R.I. 1995. *Relação dos modelos ecológicos com os modelos da economia ou os descendentes de Adam (Adão) Smith povoaram o mundo*. 361-391. In: Desenvolvimento Social: Desafios e Estratégias, Vol. II. (Org.) Neto, M.I.D. – UFRJ/EICOS.
- 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.
- Romeiro, A.R. 2006. Economia e biodiversidade. *Megadiversidade*, 2(1/2): 7-9.
- Rosière, C.A. & Chemale Jr., F. 2000a. Brazilian iron formations and their geological setting. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(2):274-278.
- Rosière, C.A. & Chemale Jr., F. 2000b. 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. (Edit.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Publicado na Internet em 21/6/2005 no endereço <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio042/sitio042.pdf>
- 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. (Edit.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Disponível em <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio129/sitio129.pdf>
- Ruchkys, U.A. 2008. *Geoparque do Quadrilátero Ferrífero: uma abordagem multidisciplinar*. In: Simpósio Afloramentos Ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero: Biodiversidade, Conservação e Perspectivas de Sustentabilidade. Belo Horizonte, 66-77. CD.
- Rylands, A.B. & Brandon, K. 2005. Unidades de conservação brasileiras. *Megadiversidade*, 1(1):27-35.
- Safford, H. D. 2001. Brazilian Páramos. III. Patterns and rates of postfire regeneration in Campos de Altitude. *Biotropica*, 33: 282-302.
- Salino, A. & Almeida, T.E. 2008. Diversidade e conservação das pteridófitas na Cadeia do Espinhaço, Brasil. *Megadiversidade*, 4(1/2):78-98.
- Sant'Anna, L.G. & Schorsch, H.D. 1997. Estratigrafia e mineralogia dos depósitos cenozóicos da região da Bacia de Fonseca, Estado de Minas Gerais, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 69(2):211-226.
- Santos, F.M. 1973. A mineração de ferro no Quadrilátero Ferrífero. 125 p. Tese Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Schaefer, C.E.G.R.; Mendonça, B.A.F.; Corrêa, G.R. & Ribeiro, A.S.S. 2008. *Solos desenvolvidos sobre canga ferruginosa no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. In: Simpósio Afloramentos Ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero: Biodiversidade, Conservação e Perspectivas de Sustentabilidade. Belo Horizonte, 109-121. CD.

- Schobbenhaus C. & Coelho C.E.S. 1986. *Principais Depósitos Mineraiis do Brasil: Ferro e Metais da Indústria do Aço*. DNPM, Brasília. 501 pp.
- Schywartz, M.W. 1999. Choosing the appropriate scale of reserves for conservation. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 30:83-108.
- SIAM/SEMAD - Sistema Integrado de Informação Ambiental. 2009. *SIG para Mineração*. Disponível em <http://www2.siam.mg.gov.br/webgis/mineracao/viewer.htm>. Consulta dia 17/12/2009.
- Silva, J.M.C. & J.M. Bates. 2002. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a tropical savanna hotspot. *BioScience*, 52: 225-233.
- Silva, M. S. 2008. Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na Mata Atlântica Brasileira. 216 p. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais.
- Silvano, D.L. & Segalla, M.V. 2005. Conservação de anfíbios no Brasil. *Megadiversidade*, 1(1):79-86.
- SISEMA – Sistema Estadual de Meio Ambiente. 2008. *Parecer único n° 001/2008*. Anglo Ferrous Minas-Rio Mineração S.A.
- Spix, J.B. & Martius, C.F.P. 1824. *Viagem pelo Brasil: 1817-1820*. Tradução Lucia Furquim Lahmeyer. Ed. Itatiaia, Belo Horizonte, ed. 1981, 3v.
- Spósito, T.C. & Stehmann, J.R. 2006. Heterogeneidade florística e estrutural de remanescentes florestais da Área de Proteção Ambiental ao Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte (APA Sul-RMBH), Minas Gerais, Brasil. *Acta bot. bras.*, 20(2): 347-362.
- Teixeira, W.A. & J.P. Lemos-Filho. 1998. Metais pesados em folhas de espécies lenhosas colonizadoras de uma área de mineração de ferro em Itabirito, Minas Gerais. *Revista Árvore*, 22: 381–388.
- Toy, T.J. & Griffith, J.J. 2001. Changing surface-mine reclamation practices in Minas Gerais, Brazil. *International Journal of Surfaces Mining, Reclamation and Environment*, 15:33-51.
- Toy, T.J.; Griffith, J.J. & Ribeiro, C.A.A. 2001. Planejamento a longo prazo da revegetação para o fechamento de minas a céu aberto no Brasil. *Revista Árvore*, 25:487-499.
- UNEP/CBD/COP/6. 2001. *Decision VI*. Strategic Plan for the Convention on Biological Diversity. Disponível em: <http://www.cbd.int/decision/cop/?id=7200>. Consulta: 10/12/2009
- Urban, H.; Stribny, B & Lippolt, H.J. 1992. Iron and Manganese deposits of the Urucum District, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Economic Geology*, 87-1375-1392.
- U.S. Census Bureau. 2009. <http://www.census.gov/main/www/popclock.html>. Consulta em 01/12/2009.
- Vandermeer, J. & Carvajal, R. 2001. Metapopulation Dynamics and the Quality of the Matrix. *American Naturalist*, 158:211-220.
- Varajão, C.A.C. 1991. A questão da correlação das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, 21: 138-145.
- Vasconcelos, M.F.; Lopes, L.E.; Machado, C.G. & Rodrigues, M. 2008. As aves dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço: diversidade, endemismo e conservação. *Megadiversidade*, 4(1/2): 221-241.
- Veloso, H. P.; Rangel-Filho, A. L. R. & Lima, J. C. A. *Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal*. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1991. 123 pp.
- Versieux, L.M.; Wendt, T.; Louzada, R.B. & Wanderley, M.G.L. 2008. Bromeliaceae da Cadeia do Espinhaço. *Megadiversidade*, 4(1/2):126-138.

- Viana, P.L. 2008. *A flora dos campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero*. In: Simpósio Afloramentos Ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero: Biodiversidade, Conservação e Perspectivas de Sustentabilidade. Belo Horizonte, 15-29. CD.
- Viana, P.L. & J.A. Lombardi. 2007. Florística e caracterização dos campos rupestres sobre canga na Serra da Calçada, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia*, 58: 159-177.
- 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, 2:111-120.
- 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.
- Vincent, R.C. & Meguro, M. 2008. Influence of soil properties on the abundance of plant species in ferruginous rocky soils vegetation, southeastern Brazil. *Revista Brasil. Bot.*, 31(3):377-388.
- 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 do Aço*. DNPM, Brasília.
- Walter, H.S. 2004. The mismeasure of islands: implications for biogeographical theory and the conservation of nature. *Journal of Biogeography*, 31:177-197.
- Whelan, R. J. 1997. *The Ecology of Fire*. Cambridge University Press, Cambridge. 346 pp.
- Whiting, S.N.; Reeves, R.D. & Baker, A.J.M. 2002. Conserving Biodiversity: Mining Metallophytes and Land Reclamation. *Mining Environmental Management*, 10: 11-16.
- Whiting, S.N.; Reeves, D.; Richards, D.; Johnson, M.S.; Cooke, F.; Malaisse, A.; Paton, J.A.C.; Smith, J.S.; Angle, R.L.; Chaney, R.; Ginocchio, T.; Jaffré, R.; Johns, T.; McIntyre, O. W.; Purvis, D.E.; Salt, F.J.; & Baker, A.J.M. 2004. Research priorities for conservation of metallophyte biodiversity and their potential for restoration and site remediation. *Restoration Ecology*, 12: 106-116.
- Wilcox, B.A. & Murphy, D.D. 1985. Conservation strategy: the effects of fragmentation on extinction. *American Naturalist*, 125:879-887.
- 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>
- Winge, M.; Crósta, A.P.; Neves, B.B.B; Alvarenga, C.J.S.; Schobbenhaus, C.; Carneiro, C.D.R.; Dias-Brito, D; Danni, J.C.M.; daSilva, J.G.R.; Filho, J.O.A.; Blum, M.L.B.; Santos, M.D.; Pimentel, M.M.; Botelho, M.F.; Boggiani, P.C. & d'Avila, R.S.F.. 2001. *Glossário Geológico Ilustrado*. Disponível em <http://www.unb.br/ig/glossario>
- Woodwell, G.M. 2002. On purpose in science, conservation and government. *Ambio*, 31(5):432-436.
- WWF International & IUCN. 1999. Metals from the forests: Mining and forest degradation. *Arborvitae* (número especial): 1-40.

Anexo 1 – Localização das 34 cangas avaliadas a partir do protocolo elaborado para o conhecimento do estado de conservação das cangas localizadas no Quadrilátero Ferrífero, MG.

Canga nº	Área (ha)	Altitude (m)	Localidade	Estrutura Geológica
1	8	1350	Serra do Itatiaiuçu	Serra do Curral
2	30	1350	Serra do Itatiaiuçu	Serra do Curral
3	6	1276	Serra do Itatiaiuçu	Serra do Curral
4	22	900	Serra do Itatiaiuçu	Serra do Curral
5	46	1450	P.E.S. Rola Moça	Serra do Curral
6*	200	1490	P.E.S. Rola Moça	Serra do Curral
7	29	1400	P.E.S. Rola Moça	Serra do Curral
8	3	1310	P.E.S. Rola Moça	Serra do Curral
9	4	1300	P.E.S. Rola Moça	Serra do Curral
10	38	1430	P.E.S. Rola Moça	Serra do Curral
11	2	1510	Serra da Moeda	Sinclinal Moeda
12	317	1540	Serra da Moeda	Sinclinal Moeda
13	5	1530	Serra da Moeda	Sinclinal Moeda
14	42	1500	Serra da Moeda	Sinclinal Moeda
15	1	1600	Serra de Belo Vale	Sinclinal Moeda
16	1	1300	Serra de Belo Vale	Sinclinal Moeda
17	10	1540	Serra de Belo Vale	Sinclinal Moeda
18	28	1870	Serra de Capanema	Sinclinal C. História
19	44	1830	Serra de Capanema	Sinclinal C. História
20	151	1730	Serra de Capanema	Sinclinal C. História
21	23	1650	Serra de Capanema	Sinclinal C. História
22	901	1650	Serra de Gandarela	Sinclinal Gandarela
23	400	1650	Serra de Gandarela	Sinclinal Gandarela
24	1291	1200	Serra de Gandarela	Sinclinal Gandarela
25	1050	930	Chapada de Canga	Chapada de Canga
26	22	1320	P.E. do Itacolomi	Sinclinal D. Bosco
27	80	1450	Ouro Preto	Sinclinal D. Bosco
28	14	1420	M. do Tamanduá	Sinclinal Moeda
29	11	1460	M. do Tamanduá	Sinclinal Moeda
30	15	1130	UFOP	Sinclinal D. Bosco
31	16	1500	Serra da Brígida	Sinclinal D. Bosco
32	20	1570	Serra da Piedade	Serra do Curral
33	52	1630	Serra da Piedade	Serra do Curral
34	10	1380	Serra do Curral	Serra do Curral

* Cerca de 100 ha encontram-se fora dos limites do P.E.S. do Rola Moça.

Anexo 2 - Esquema de classificação hierárquica utilizada para as ecorregiões da América Latina e Caribe (Dinerstein *et al.*, 1995).

Tipo Principal de Ecossistema (<i>Major Ecosystem Type – MET</i>)	Tipo Principal de Hábitat (<i>Major Habitat Type – MHT</i>)	Biorregião (<i>Bioregion</i>)
Florestas latifoliadas tropicais	Florestas latifoliadas tropicais úmidas Ocorrem no sul do México e sul da América do Sul, regiões dos Andes, sudeste do Brasil (Mata Atlântica). Florestas latifoliadas tropicais secas Ocorrem no sul do México, centro e nordeste do Brasil, leste da Bolívia e sul da América do Sul	Norte do México América Central Caribe Norte dos Andes Amazônia América do Sul Oriental
Florestas latifoliadas temperadas	Florestas temperadas Extremo sul da América do Sul	Orenoco América do Sul meridional
Campos, savanas, arbustais	Florestas de coníferas Ocorrem no centro e sul do México, norte da América Central e sul do Brasil Campos, savanas, arbustais México, América do Sul e Llanos da Venezuela	América do Sul meridional Andes Centrais
	Campos inundáveis Amazônia e centro da América do Sul Campos montanos	
	Andes e estepes da Patagônia	

continuação...

Tipo Principal de Ecossistema (<i>Major Ecosystem Type – MET</i>)	Tipo Principal de Hábitat (<i>Major Habitat Type – MHT</i>)	Biorregião (<i>Bioregion</i>)
Formações xéricas	Formações mediterrâneas Norte do México e áreas disjuntas no Chile Desertos e formações xéricas Norte do México, Antilhas, Colômbia, Venezuela, Peru e Chile Restingas Brasil, Argentina Venezuela e México	

Anexo 3 – Locais de ocorrência de cangas no Quadrilátero Ferrífero, MG.

Estrutura ou *Formação Geológica	Municípios	Localidades/Topônimos
*Chapada de Canga	Catas Altas Mariana	Chapada de Canga Morro da Água Quente
Serra do Curral	Belo Horizonte Brumadinho Caeté Ibirité Igarapé Itatiaiuçu Mario Campos Mateus Leme Nova Lima Sabará São J. de Bicas Sarzedo	Serra da Mutuca Serra da Piedade Serra de Itatiaiuçu Serra do Curral Serra do Rola Moça Serra dos Três Irmãos Serra do Barreiro
Sinclinal Alegria	Mariana Ouro Preto	
Sinclinal Conta História	Mariana Ouro Preto	Alto do Conta História; Timbopeba; Serra de Capanema; Serra do Batatal;
Sinclinal Dom Bosco	Mariana Ouro Branco Ouro Preto	Saramenha, Serra da Bocaina; Serra da Brígida; Serra do Itacolomi; Serra de Ouro Branco; Serra do Fundão; Serra de Ouro Preto; Tripuí
Sinclinal Gandarela	Barão de Cocais Caeté Rio Acima Santa Bárbara São Gonçalo do Rio Abaixo	Platô da Lagoa Grande Serra da Pedra Formosa Serra de Gandarela Serra de Gongo Soco Serra do Tamanduá Serra do Machado
Sinclinal Moeda	Belo Vale Brumadinho Congonhas Itabirito Jeceaba Moeda Nova Lima Ouro Preto Rio Acima	Serra da Moeda; Morro do Chapéu Morro do Tamanduá Serra da Boa Morte Serra da Calçada; Serra da Gama Serra de Itabirito; Serra das Almas Serra do Galinheiro; Serra de Belo Vale Serra das Serrinhas Serra do Pires; Serra do Batateiro Serra dos Mascates; Serra dos Trovões
Sinclinal Ouro Fino	Itabirito Santa Bárbara	Serra de Ouro Fino
Outros	Mariana Ouro Preto Santa Bárbara	Brumal Serra de Antônio Pereira Serra das Andorinhas