

FLÁVIO FONSECA DO CARMO

**PADRÕES DE DIVERSIDADE, COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA E
ESTRUTURA DE COMUNIDADES DE PLANTAS EM
AFLORAMENTOS ROCHOSOS, QUADRILÁTERO FERRÍFERO,
BRASIL.**



BELO HORIZONTE - MG

2014

Flávio Fonseca do Carmo

Padrões de diversidade, composição florística e estrutura de comunidades de plantas em afloramentos rochosos, Quadrilátero Ferrífero, Brasil.

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

Orientadora: Dra. Claudia Maria Jacobi

Belo Horizonte - MG

2014

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| Agradecimentos..... | 4 |
| Resumo..... | 5 |
| Lista de figuras..... | 7 |
| Lista de tabelas..... | 10 |
| Apresentação..... | 12 |
| Capítulo 1 – A vegetação de canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: caracterização e contexto fitogeográfico..... | 17 |
| Capítulo 2 – Lista florística da vegetação em granito, gnaisse e quartzito, Quadrilátero Ferrífero, sudeste do Brasil..... | 42 |
| Capítulo 3 – Effects of fine-scale surface heterogeneity on rock outcrop plant communities..... | 72 |
| Capítulo 4 – Are the composition of Asteraceae and Poaceae influenced by differences in soil properties in rock outcrops?..... | 93 |
| Capítulo 5 – Padrões de diversidade e estrutura de comunidades de plantas em afloramentos rochosos, Quadrilátero Ferrífero, Brasil..... | 131 |
| Considerações Finais..... | 159 |

AGRADECIMENTOS

Centenas de horas/trabalho foram doadas por vários amigos para que os dados de campo pudesse ser coletados. Agradeço a todos: José Eugênio do Carmo, Felipe Fonseca, Leonardo Cotta, Ericson Silva, Lucas Perillo, Iara Campos, Gustavo Heringer, Matheus Toshiba e Bruno Falcão.

A minha orientadora, Claudia Jacobi, sempre incentivando, ensinando e discutindo idéias.

Aos amigos do laboratório de sistemática vegetal, em especial a Pedro Viana, Marcos Sobral, Nara Furtado e Livia Echternacht.

Aos inúmeros taxonomistas que identificaram as milhares de exsicatas. Todos sempre muito atenciosos.

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

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

A minha família por todo o apoio.

RESUMO

Os afloramentos rochosos representam ambientes muito antigos que sustentam uma flora relictual, geralmente condicionada por fatores microclimáticos, edáficos e topográficos. As formações vegetais que crescem sobre diferentes tipos rochosos nas montanhas do leste do Brasil constituem importantes centros de diversidade de plantas. Entretanto, ainda são escassos os estudos quantitativos que investigaram os fatores edáficos nos sistemas rochosos brasileiros. O objetivo geral desta tese foi explorar padrões de diversidade e estrutura de comunidades de plantas e relacioná-los aos padrões edáficos/topográficos dos afloramentos rochosos, identificando diferenças ecológicas entre as comunidades sobre canga, quartzito, granito e gnaiss localizados no Quadrilátero Ferrífero, MG. O Capítulo 1 investigou a distribuição geográfica e os domínios fitogeográficos de 980 espécies inventariadas nas cangas. Em comparação aos sistemas quartzíticos, principalmente os inseridos na Cadeia do Espinhaço, pode-se distinguir a vegetação das cangas pela maior influência de elementos florísticos do domínio Atlântico, maior frequência de sinúsias formadas por árvores e arbustos e riqueza elevada de espécies de gêneros como *Solanum* e *Cattleya*. Essa distinção parece correlacionar-se com a localização geográfica do Quadrilátero e com as características geomorfológicas e mineralógicas das cangas. O Capítulo 2 apresentou uma lista florística da vegetação em granito, gnaisses e quartzitos. Foram encontradas 704 espécies. As famílias com maior número de espécies foram Asteraceae (108), Poaceae (86), Orchidaceae (47), Cyperaceae (37), Melastomataceae (35), Fabaceae (32), Rubiaceae (27), Myrtaceae (18), Apocynaceae e Bromeliaceae (14 cada) e Verbenaceae (13). As formas de crescimento predominantes foram as ervas (50%), seguida pelos subarbustos (20%), arbustos (18%) e trepadeiras (6%). Foram encontradas 15 espécies raras, a maioria com distribuição geográfica restrita ao Quadrilátero Ferrífero. O Capítulo 3 objetivou mensurar os efeitos em escala fina da heterogeneidade topográfica de afloramentos rochosos nas comunidades de plantas. Este trabalho representou um dos primeiros estudos empíricos a demonstrar que variações centimétricas da superfície rochosa promoveram alterações na diversidade e estrutura das comunidades. O Capítulo 4 investigou se a composição de espécies de Asteraceae e de Poaceae pode ser influenciada pelas propriedades de solos desenvolvidos sobre diferentes afloramentos. Os solos de 10 afloramentos foram classificados como fortemente ácidos e com níveis muito baixos de fertilidade e de concentração de elementos-traço. Foram encontradas algumas diferenças marcantes entre a constituição físico-química dos solos, separando os desenvolvidos sobre as cangas, com elevadas concentrações de Fe e Mn, dos solos

desenvolvidos sobre quartzitos e granitóides, com altos valores de saturação de alumínio. Entretanto, a composição de Asteraceae e Poaceae não apresentou padrões nítidos em resposta à fertilidade do solo. O Capítulo 5 também investigou os padrões de diversidade e estrutura de comunidades de plantas em diferentes afloramentos rochosos. Porém, foram utilizados desenho amostral, ferramentas de análise e escala (maior) diferentes dos adotados no Capítulo 3. As comunidades associadas ao granito e as gnaisses foram as menos diversas. Entre as cangas e os quartzitos, não houve um padrão claro, com variações dependendo do parâmetro alfa do perfil de diversidade. As análises de ordenação posicionaram de forma agregada os afloramentos de mesma origem geológica. As cangas abrigaram a maior biomassa de plantas com distribuição restrita ao Quadrilátero Ferrífero, seguidas pelos quartzitos, gnaisses e pelo granito.

Palavras-chave: canga, granito, gnaisse, quartzito, endemismo, fatores edáficos, conservação, modelos nulos, ordenação, metalófitas, tipos funcionais.

LISTA DE FIGURAS

Apresentação

Figura 1 – Relevo da região da Cadeia do Espinhaço, MG. Em destaque o Quadrilátero Ferrífero. Foram investigados 13 afloramentos rochosos. Três afloramentos na Serra do Rola Moça: 1 e 2) cangas; 3) quartzito. Quatro afloramentos na Serra da Moeda: 4 e 5) gnaisses; 6) canga; 7) quartzito. Os afloramentos de quartzito 8 e 9 estão localizados, respectivamente, nas Serras do Itacolomi e do Caraça. O afloramento 10 (quartzito) está localizado na Serra de Água Limpa. Dois afloramentos de canga na Serra de Gandarela: 11 e 12. O afloramento 13 (granito) está localizado na Estação Ambiental de PETI. Adaptado de Miranda (2005).....10

Capítulo 1

Figura 1 – Formas de crescimento vegetação em cangas do Quadrilátero Ferrífero, MG. Árv: árvore; Arb: Arbusto; Sub: subarbusto; Palm: palmeira; Par: parasita; Trep: trepadeira.....22

Figura 2 – Dendrograma de similaridade baseado no número de espécies de 920 gêneros de angiospermas (UPGMA; coeficiente de similaridade Bray-Curtis: cc 0,884). *Bootstrap*: 5000 repetições. SJ: Serra de São José; CG: Cangas; CI: Serra do Cipó; GM: Grão-Mogol; CA: Catolés; PA: Pico das Almas.....27

Figura 3 – Diagramas ternários obtidos a partir da frequência dos 25 gêneros com maior riqueza em cada uma das seis áreas investigadas. MA: setor Mata Atlântica; CE: setor Cerrado; CA: setor Caatinga. Consultar a Tabela 3 para a identificação dos códigos.....32

Capítulo 2

Figura 1 - Formas de crescimento da vegetação em afloramentos de granito, gnaisses e quartzitos, Quadrilátero Ferrífero, MG. Árv: árvore; Arb: Arbusto; Sub: subarbusto; Palm: palmeira; Par: parasita; Trep: trepadeira.....46

Capítulo 3

Fig. 1. Microtopographic profile distribution based on roughness class, in nine rock outcrops, Iron Quadrangle, Brazil. Class: 1 ($RI \leq 0.35$), 2 ($RI 0.36-0.7$), 3 ($RI 0.71-1.05$), 4 ($RI 1.06-1.4$), 5 ($RI 1.41-1.75$), 6 ($RI 1.76-2.1$), 7 ($RI 2.11-2.45$), 8 ($RI 2.46-2.8$), 9 ($2.81-3.15$), 10 ($RI \geq 3.16$). Gr: granitoid; Qz: quartzite; Ca: canga (ironstone).....80

Fig. 2. Simple linear regression models of the response variables to the roughness index RI ($p < 0.01$). TPC: total plant cover; DSC: dominant species cover.....83

Fig. 3. Rock outcrop plant communities similarity based on the relative cover of functional groups, Iron Quadrangle, Brazil (UPGMA; Bray-Curtis index: cc 0.83). Gr: granitoid; Qz: quartzite; Ca: canga.....84

Fig. 4. Diversity ordering (Rényi index) in plant communities of nine rock outcrops, Iron Quadrangle, Brazil. Cangas (Ca): black line; Granitoids (Gr): black dotted line; Quartzites (Qz): gray line. Confidence intervals not drawn.....85

Capítulo 4

Figure 1 - Relationship between species richness and area of 10 outcrops, Iron Quadrangle. For Asteraceae: $R^2 = 0.59$ (exponential model). For Poaceae: $R^2 < 0.037$. C: cangas; G: granitoids; Q: quartzites. For site codes see Tab. 1.....99

Figure 2 - Proportion of number of occurrences of Asteraceae (151 species) and Poaceae (91 species) in 10 outcrops from the Iron Quadrangle.....100

Figure 3 - Cluster analysis of 10 outcrops from the Iron Quadrangle based on the Asteraceae species (n=83; cophenetic correlation coefficient = 0.928) and Poaceae species (n=55; cophenetic correlation coefficient = 0.835). Dendrogram used UPGMA and the Jaccard similarity index. C: cangas; G: granitoids; Q: quartzites. For site codes see Tab. 1.....102

Figure 4 - Cluster analysis (UPGMA and Bray-Curtis index) of the soils samples from 10 outcrops, Iron Quadrangle. Above, 18 fertility variables (n=50; cophenetic correlation coefficient = 0.775). Below, nine trace elements (n=20; cophenetic correlation coefficient = 0.816). C: cangas; G: granitoids; Q: quartzites. For site codes see Tab. 1.....107

Figure 5 - Eigenvalues (95% CI) from principal component analysis baseados in soil fertility (10 variables) and trace elements (10 variables). Dotted line: eigenvalues expected from a broken-stick model.....108

Figure 6 - Principal component analysis of the 10 soil fertility variables (n=50 samples) from 10 rock outcrops, Iron Quadrangle. C: cangas; G: granitoids; Q: quartzites. For site codes see Tab. 1.....108

Capítulo 5

Figura 1 – Análises de agrupamentos baseadas em: a) presença/ausência de espécies amostradas em nove afloramentos (Jaccard/UPGMA; coeficiente de correlação cofenética = 0.897); b) cobertura vegetal dos grupos funcionais amostrados em nove afloramentos (Bray-Curtis/UPGMA; coeficiente de correlação cofenética = 0.842); c) cobertura vegetal dos grupos funcionais amostrados em 45 transectos (Bray-Curtis/UPGMA; coeficiente de correlação cofenética = 0.763). C: cangas; G: granitóides; Q: quartzitos. As identificações dos códigos das localidades estão na Tab. 1.....140

Figura 2 – Perfis de diversidade de comunidades de plantas baseados em abundância de espécies (a) e abundância dos grupos funcionais (b) em nove afloramentos rochosos, Quadrilátero Ferrífero, MG. Cada linha representa o perfil de um afloramento, assim:

| | |
|--|-----|
| vermelho=QR; azul escuro=QM; verde escuro=QA; verde oliva=CM; marrom= CR; rosa=CG; azul claro=GM; roxo= GV; verde claro=GP. Os intervalos de confiança não foram representados..... | 141 |
| Figura 3 – Distribuição do número de amostras (n=150 por afloramento) por classes de profundidade do solo e de inclinação do substrato em nove afloramentos rochosos, Quadrilátero Ferrífero, MG..... | 144 |
| Figura 4 - Autovalores (barra vertical, IC 95%) dos componentes principais baseados em 11 variáveis abióticas (n=45 transectos) amostradas em nove afloramentos rochosos, Quadrilátero Ferrífero, MG. Linha pontilhada: Autovalores estimados a partir de um modelo <i>broken-stick</i> | 145 |
| Figura 5 – Análise de Componentes Principais de 10 variáveis abióticas (n=45 transectos) amostradas em nove afloramentos rochosos, Quadrilátero Ferrífero, MG. C: cangas; G: granitóides; Q: quartzitos. As identificações dos códigos das localidades estão na Tab. 1...145 | 145 |
| Figura 6 – Análise de Correspondência Distendida de comunidades de plantas em nove afloramentos rochosos, Quadrilátero Ferrífero, MG. C: cangas; G: granitóides; Q: quartzitos. As identificações dos códigos das localidades estão na Tab. 1. As identificações dos códigos das espécies estão no anexo..... | 147 |
| Figura 7 – Níveis de endemismos por litotipo em comparação com a cobertura vegetal total das 42 espécies da matriz DCA. Ca (vermelho): espécies com distribuição restrita as cangas do Quadrilátero Ferrífero; QF (laranja): espécies com ocorrência apenas para o Quadrilátero Ferrífero, excluindo as endêmicas das cangas; MG (amarelo): espécies com distribuição geográfica apenas em Minas Gerais, excluindo as endêmicas do Quadrilátero Ferrífero..... | 147 |

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1 – Localização e caracterização das seis áreas contendo sistemas rochosos que integraram o banco de dados do presente estudo.....20

Tabela 2 – Domínios fitogeográficos das espécies inventariadas nas cangas do Quadrilátero Ferrífero, MG. MA: Mata Atlântica; CE: Cerrado; CA: Caatinga; AM: Amazônia; PM: Pampa.....26

Tabela 3 – Os 25 gêneros de angiospermas com maior número de espécies (cinza) em cada localidade (ver Tabela 1), ordenados a partir dos valores nas cangas do Quadrilátero Ferrífero, MG. Cod.: códigos da Figura 3.....28

Capítulo 2

Tabela 1 – Localização dos sete afloramentos rochosos inventariados, Quadrilátero Ferrífero, MG.....44

Tabela 2 - Lista florística da vegetação em afloramentos de granito, gnaisses e quartzitos, Quadrilátero Ferrífero, MG. FC: forma de crescimento.....46

Tabela 3 – Domínios fitogeográficos das espécies inventariadas nos afloramentos de granito, gnaisses e quartzitos, Quadrilátero Ferrífero, MG. CE: Cerrado; MA: Mata Atlântica; AM: Amazônia; CA: Caatinga; PAM: Pampa.....66

Capítulo 3

Table 1. Location and characterization of the rock outcrops in the Iron Quadrangle, southeast Brazil. * Dorr II (1969).....76

Table 2. Roughness, inclination and soil depth in nine rock outcrops, Iron Quadrangle, Brazil. RI: Roughness index (cm); Gr: granitoid; Qz: quartzite; Ca: canga.....81

Table 3. Parameters of the plant community associated with the nine rock outcrops, Iron Quadrangle, Brazil. TPC: total plant cover; DSC: dominant species cover; Gr: granitoid; Qz: quartzite; Ca: canga (ironstone).....82

Capítulo 4

Table 1. Location, area and altitude of 10 outcrops from Iron Quadrangle, MG.....95

Table 2 – Results of null models (5000 iterations) analysis of co-occurrence patterns. SES: standardized effect size.....99

Table 3 - Asteraceae and Poaceae species occurring exclusively in iron oxy-hydroxides cangas or silicates (Granitoids + Quartzites) rock types from the Iron Quadrangle. Numbers of species per rock type are indicated in brackets.....103

Table 4 - Soil physico-chemical characteristics (mean, n=5 for each outcrop) in 10 rock outcrops from the Iron Quadrangle. SB: sum of bases; CEC: effective cation exchange capacity; V: base saturation index; m: aluminum saturation index. For site codes, Tab. 1....104

Table 5 - Trace elements (ppm) in soil samples in 10 rock outcrops from the Iron Quadrangle. Values of minimum detection limit of the ICP-OES method are indicated in brackets. For site codes see Tab. 1.....104

Table 6 - PerMANOVA for the soil comparisons (10.000 permutations) among the 10 outcrops, Iron Quadrangle. Lower diagonal: fertility variables. Upper diagonal: trace elements. Significant results ($p < 0.05$) are reported in bold. For site codes see Tab. 1.....105

Capítulo 5

Tabela 1. Localização dos afloramentos rochosos, Quadrilátero Ferrífero, MG.....134

Tabela 2 – Parâmetros das comunidades vegetais em nove afloramentos rochosos, Quadrilátero Ferrífero, MG. Os tipos funcionais com maior valor de cobertura vegetal em cada afloramento estão sublinhados. As identificações dos códigos das localidades estão na Tab. 1.....139

Tabela 3 – Parâmetros edáficos e climáticos em nove afloramentos rochosos, Quadrilátero Ferrífero, MG. C: cangas; G: granitóides; Q: quartzitos. As identificações dos códigos das localidades estão na Tab. 1.....143

APRESENTAÇÃO

Os afloramentos rochosos (*sensu* Moura *et al.*, 2011) representam ambientes muito antigos que sustentam uma flora relictual, geralmente condicionada por fatores microclimáticos, edáficos e topográficos (Giulietti *et al.*, 1987; Veloso *et al.*, 1991; Bussel & James, 1997; Kruckeberg, 2004; Huggett, 1995). As formações vegetais que crescem sobre diferentes tipos rochosos nas montanhas do leste do Brasil constituem importantes centros de diversidade de plantas (Giulietti *et al.*, 1997; Fiaschi & Pirani, 2009; Giulietti *et al.*, 2009). Além disso, os próprios sistemas rochosos fornecem serviços ecossistêmicos de extrema relevância para a manutenção da qualidade ambiental, como a recarga e armazenamento de água, regulação climática e o estoque de carbono (Szarzynsky, 2000; Mourão, 2007; Silva *et al.* 2009).

O Quadrilátero Ferrífero (QF), com uma área de 7.200 km² e localizado na região central de Minas Gerais, constitui um desses centros de diversidade e endemismos, sendo identificadas pelo menos 116 espécies restritas à localidade (Carmo & Jacobi, 2012). O QF representa uma área prioritária com importância extremamente alta para a conservação da biodiversidade brasileira (MMA, 2008). Essa classificação foi baseada em atributos como as formações geológicas únicas, a presença de importantes mananciais de abastecimento público e endemismos de fauna e flora. Apesar desse *status*, menos de 2% da área do QF está contida em unidades de conservação de proteção integral (Carmo *et al.*, 2012). Ao mesmo tempo, o QF também é considerado uma das mais importantes províncias minerais do mundo, com dezenas de lavras de extração mineral gerando enormes impactos na biodiversidade local e regional. Outra fonte de ameaça é a expansão urbana, uma vez que a região metropolitana de Belo Horizonte está parcialmente inserida no QF (Drummond *et al.*, 2005; Carmo, 2010; Carmo *et al.*, 2012).

De modo geral, as comunidades associadas aos afloramentos de quartzito localizados ao longo da Cadeia do Espinhaço, assim como das serras de Ibitipoca, São João Del-Rei, da Canastra, dos Cristais, dos Pirineus e na Chapada dos Veadeiros podem ser incluídas na definição de “campos rupestres” (Rapini *et al.*, 2008). As comunidades associadas aos afloramentos de granito-gnaiss localizados nas serras do Mar ou Mantiqueira podem ser incluídas na definição de “campos de altitude” (Safford & Martinelli, 2000; Caiafa & Silva, 2007). Vasconcelos (2011) elaborou uma discussão interessante sobre essas classificações e apontou incongruências em sua utilização para algumas localidades como a Serra de Ibitipoca (MG) ou a Morraria de Urucum (MS). O autor comenta sobre a necessidade de refinamento

dos estudos para fins de classificação da vegetação em áreas que apresentam elevada heterogeneidade ambiental. Carmo & Jacobi (2013) também apontaram problemas relacionados à nomenclatura incerta e imprecisa da vegetação associada aos afloramentos ferruginosos (cangas).

Em regiões geodiversas como o QF, em que vários litotipos afloram lado a lado, torna-se imprescindível a adoção de métodos adequados e de refinamento da escala de investigação para uma caracterização mais precisa das diferentes comunidades de plantas. Esta ação é estratégica, por exemplo, para as políticas públicas ambientais, pois o refinamento na localização e na caracterização da diversidade biológica é fundamental para que os tomadores de decisão priorizem adequadamente os alvos de conservação das futuras áreas protegidas (Dinerstein *et al.*, 2005).

O objetivo geral desta tese foi explorar padrões de diversidade e estrutura de comunidades de plantas e relacioná-los aos padrões edáficos/topográficos dos afloramentos rochosos, identificando diferenças ecológicas entre as comunidades sobre canga, quartzito, granito e gnaiss. Para isso, foram investigados 13 afloramentos distribuídos em seis serras do Quadrilátero Ferrífero (Fig. 1) e realizadas listas florísticas nas localidades ainda pouco estudadas.

Foram produzidos cinco capítulos, cada um representando objetivos específicos da tese. O Capítulo 1, publicado no periódico *Rodriguésia*, trata da caracterização e do contexto fitogeográfico da vegetação sobre as cangas. O Capítulo 2, a ser submetido ao *Check-List*, representa uma lista florística da vegetação em granito, gnaisses e quartzitos. O Capítulo 3, submetido ao *Journal of Vegetation Science*, objetivou responder duas questões: 1) variações em fina escala do substrato rochoso condicionam a estrutura e diversidade das comunidades de plantas? 2) como definir a escala adequada para mensurar a heterogeneidade do substrato rochoso? O Capítulo 4 investigou se a composição de espécies de Asteraceae e de Poaceae é influenciada pelas propriedades de solos desenvolvidos sobre diferentes afloramentos. Planeja-se submetê-lo ao periódico *Folia Geobotanica*. O Capítulo 5 também investigou os padrões de diversidade e estrutura de comunidades de plantas em diferentes afloramentos rochosos. Porém, foram utilizados desenho amostral, ferramentas de análise e escala (maior) diferentes dos adotados no Capítulo 3. Planeja-se submetê-lo ao periódico *Plant Ecology*.

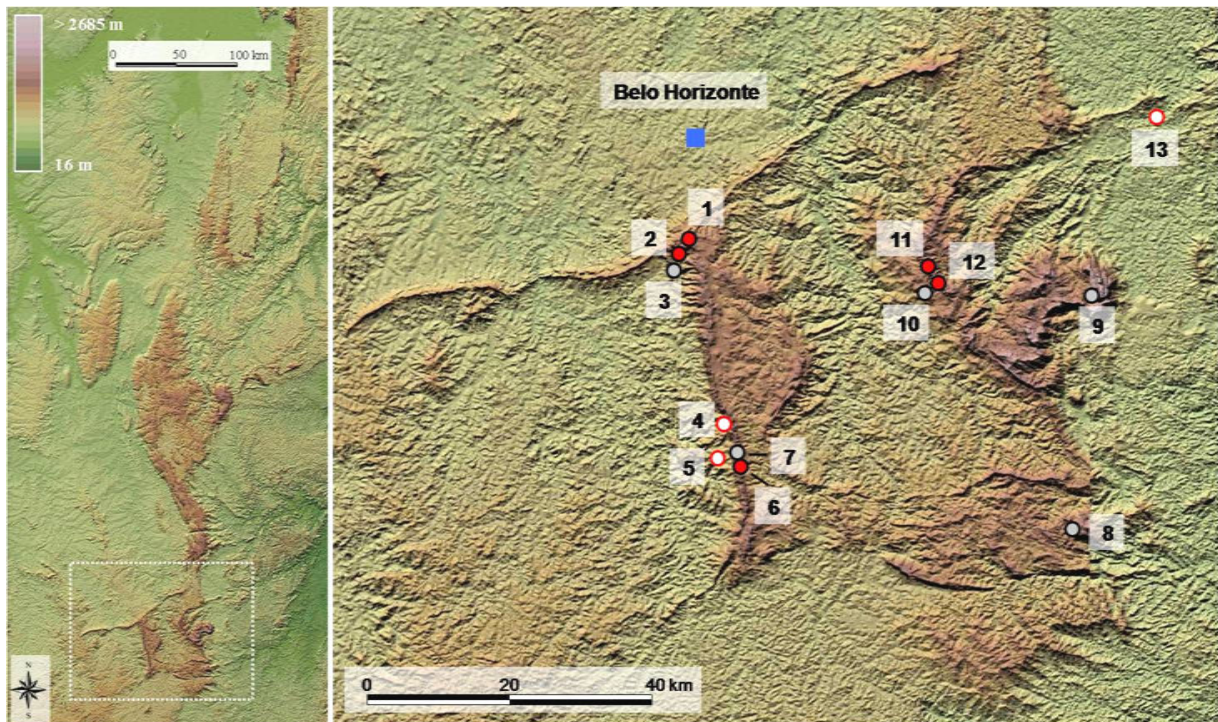


Figura 1 – Relevo da região da Cadeia do Espinhaço, MG. Em destaque o Quadrilátero Ferrífero. Foram investigados 13 afloramentos rochosos. Três afloramentos na Serra do Rola Moça: 1 e 2) cangas; 3) quartzito. Quatro afloramentos na Serra da Moeda: 4 e 5) gnaisses; 6) canga; 7) quartzito. Os afloramentos de quartzito 8 e 9 estão localizados, respectivamente, nas Serras do Itacolomi e do Caraça. O afloramento 10 (quartzito) está localizado na Serra de Água Limpa. Dois afloramentos de canga na Serra de Gandarela: 11 e 12. O afloramento 13 (granito) está localizado na Estação Ambiental de PETI. Adaptado de Miranda (2005).

Referências Bibliográficas

- Bussel, J.D. & James, S.H. 1997. Rocks as museums of evolutionary processes. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, 80: 221-229.
- Caiafa, A.N. & Silva, A.F. 2007. Structural analysis of the vegetation on a highland granitic rock outcrop in Southeast Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, 30: 657-664.

- Carmo, F.F. 2010. *Importância Ambiental e Estado de Conservação dos Ecossistemas de Cangas no Quadrilátero Ferrífero e Proposta de Áreas-Alvo para a Investigação e Proteção da Biodiversidade em Minas Gerais*. Dissertação. ICB/UFMG. 98 pp.
- Carmo, F.F. & Jacobi, C.M. 2012. Plantas vasculares em Cangas. In Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Eds.) *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. 43-50.
- Carmo, F.F. & Jacobi, C.M. 2013. A vegetação de canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: caracterização e contexto fitogeográfico. *Rodriguésia*, 64: 527-541.
- Carmo, F.F., Carmo, F.F., Campos, I.C. & Jacobi, C.M. 2012. Cangas: ilhas de ferro estratégicas para a conservação. *Ciência Hoje*, 295: 48-53.
- 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. 177 pp.
- Drummond, G.M., Martins, C.S., Machado, A.B.M., Sebaio, F.A. & Antonini, Y. (Orgs.). 2005. *Biodiversidade em Minas Gerais - Um Atlas para Sua Conservação*. 2ª ed. Belo Horizonte, Fundação Biodiversitas. 222 p.
- Fiaschi, P. & Pirani, J.R. 2009. Review of plant biogeographic studies in Brazil. *Journal of Systematics and Evolution*, 47: 477-496.
- 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. In: S.D. Davis, V.H. Heywood, O. Herrera-MacBryde, J. Villa-Lobos & A.C. Hamilton (eds.) *Centres of plant diversity. A guide and strategies for conservation*, V. 3. *The Americas*. pp. 397-404. WWF/IUCN, Cambridge.
- Giulietti, A.M., Rapini, A., Andrade, M.J.G., Queiroz, L.P. & Silva, J.M.C. (Org.). 2009. *Plantas Raras do Brasil*. Conservation International, Belo Horizonte. 496 p.
- Huggett, R.J. 1995. *Geocology an evolutionary approach*. Routledge, London. 320 p.
- Kruckeberg, A.R. 2004. *Geology and Plant Life: The Effects of Landforms and Rock Types on Plants*. University of Washington Press. Seattles, USA. 363 p.
- Miranda, E.E. (Coord.) 2005. *Brasil em Relevô*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>.
- 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.
- Moura, I.O. Ribeiro, K.T. & Takahasi, A. 2011. Amostragem da vegetação em ambientes rochosos. In: Felfili, J.M., Eisenlohr, P.V., Melo, M.M.R.F., Andrade, L.A. & Meira-Neto, J.A.A. (Eds.) *Fitossociologia no Brasil, métodos e estudos de casos*. Vol. I. Viçosa. Ed. UVF. 255-294 pp.
- Mourão, M.A.A. 2007. *Caracterização hidrogeológica do aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG*. Tese. IGC – UFMG. 297 f.
- Rapini, A., Ribeiro, P.L. & Pirani, J.B. 2008. A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. *Megadiversidade*, 4: 16-23.
- Safford, H.D. & Martinelli, G. 1999. Southeast Brazil. In: Porembski, S. & Barthlott, W. (Eds.). 2000. *Inselbergs. Biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions*. Springer-Verlag, Berlim, 339-389 p.
- Silva, A.C., Horák, I., Cortizas, A.M., Vidal-Torrado, P., Graziotti, P.H., Silva, E.B. & Ferreira, C.A. 2009. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional. I Caracterização e classificação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33: 1385-1398.
- Szarzynsky, J. 2000. Xeric islands: environmental conditions on Inselbergs. In: Porembski, S. & Barthlott, W. (eds.) *Inselbergs: biotic diversity of isolated rock outcrops in Tropical and Temperate regions*. Springer, New York. 37-48 pp.
- Vasconcelos, M.F. 2011. O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do leste do Brasil? *Revista Brasileira de Botânica*, 34, 241-246.
- Veloso, H.P., Rangel Filho, A.L.R. & Lima, J.C.A. 1991. *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal*. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística, Rio de Janeiro.

CAPÍTULO 1

A VEGETAÇÃO DE CANGA NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS: CARACTERIZAÇÃO E CONTEXTO FITOGEOGRÁFICO¹

Flávio Fonseca do Carmo & Claudia Maria Jacobi¹

Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG. ¹Professor Associado, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG.

Resumo: A vegetação nas cangas (afloramentos ferruginosos) abriga dezenas de espécies raras, várias novidades taxonômicas e elevada diversidade alfa e beta. Utilizando um banco de dados constituído por 1.080 táxons de angiospermas, a vegetação associada às cangas no Quadrilátero Ferrífero foi caracterizada a partir dos elementos florísticos, das formas de crescimento e das fisionomias mais frequentes. Analisou-se a distribuição geográfica e os domínios fitogeográficos de 980 espécies. Ainda, com o objetivo de verificar se há distinção entre a vegetação das cangas em relação às de cinco áreas inseridas em sistemas rupestres de Minas Gerais e Bahia, analisou-se a similaridade a partir do número de espécies de 920 gêneros de angiospermas. Em comparação aos sistemas quartzíticos, principalmente os inseridos na Cadeia do Espinhaço, pode-se distinguir a vegetação das cangas pela maior influência de elementos florísticos do domínio Atlântico, maior frequência de sinúcias formadas por árvores e arbustos, riqueza elevada de espécies de gêneros como *Solanum* e *Cattleya* e pouca representatividade fisionômica de alguns gêneros típicos dos campos rupestres. Essa distinção parece correlacionar-se com a localização geográfica do Quadrilátero e com as características geomorfológicas e mineralógicas das cangas.

Palavras-chave: sistemas rupestres, Cadeia do Espinhaço, vegetação metalófila, geossistema ferruginoso, afloramentos ferruginosos

Introdução

Os sistemas rochosos constituem geoformas muito antigas e geralmente sustentam uma flora relictual controlada edaficamente e caracterizada pelo elevado número de endemismos (Bussel & James 1997; Giulietti *et al.* 1997; Kruckeberg 2004; Vincent & Meguro 2008). Scarano (2007), ao discutir o panorama da produção do conhecimento sobre a vegetação associada aos afloramentos rochosos, destaca a necessidade urgente de acelerar estudos nesses ambientes, em especial nas áreas de cangas. Estas áreas constituem um dos sistemas menos conhecidos, onde a principal causa de perda de habitat e degradação deve-se à abertura de dezenas de cavas de extração de minério de ferro (Carmo *et al.* 2012).

¹ Artigo publicado no periódico *Rodriguésia* (2013)

As cangas são afloramentos formados há milhões de anos resultante do intemperismo de rochas ferríferas subjacentes - tais como os itabiritos e diamictitos ferruginosos - e posterior enriquecimento de ferro, resultando em couraças que podem atingir dezenas de metros de espessura e se estender por milhares de hectares (Dorr II 1969; Schobbenhaus & Coelho 1986; Castro 2008). A vegetação associada às cangas abriga dezenas de espécies raras (*sensu* Giulietti *et al.* 2009), várias destas novas para a ciência, e elevada diversidade alfa e beta (Viana & Lombardi 2007; Jacobi & Carmo 2008a; Jacobi & Carmo 2012). Apesar disto, estas áreas possuem representatividade insignificante dentro do sistema nacional de unidades de conservação de proteção integral (Jacobi *et al.* 2011).

As couraças ferruginosas localizam-se predominantemente no estado de Minas Gerais, principalmente no Quadrilátero Ferrífero e ao longo da vertente leste da Cadeia do Espinhaço. Outras localidades relevantes são a Serra de Carajás (Pará), a Morraria do Urucum (Mato Grosso do Sul) e a região de Caetité (Bahia) (Carmo *et al.* 2012). Com frequência, as cangas distribuem-se insularmente nas porções mais altas do relevo, recobrando jazidas de minério de ferro e constituindo extensos platôs interconectados por vales e escarpas (Dorr II 1969; Carmo *et al.* 2011).

Fundamentados nas peculiaridades geomorfológicas, hidrogeológicas, paleoambientais e na singularidade das comunidades de plantas e invertebrados associados às formações ferríferas e as cangas, Jacobi *et al.* (no prelo) sugeriram agrupar estas áreas metalíferas sob o termo geossistema ferruginoso. Foi adotado o conceito de geossistema (Bertrand 1972), e não o de ecossistema, porque além de incluir o conceito de complexos rupestres de Semir (1991), abrange ainda as interações entre os processos climatológicos, geomorfológicos, biológicos e antrópicos como estruturadores de uma paisagem dinâmica (Rodrigues 2001).

Vários termos foram propostos para denominar a vegetação associada às cangas, como campos ferruginosos (Rizzini 1979), savana metalófila (Porto & Silva 1989), vegetação metalófila (Silva 1992), campos rupestres ferruginosos (Mourão & Stehmann 2007; Viana & Lombardi 2007) e vegetação de bancada laterítica (Silva & Tozzi 2011). Até hoje a nomenclatura permanece incerta e imprecisa, e este cenário demanda uma sistematização do conhecimento gerado para subsidiar uma caracterização mais precisa da vegetação. Da perspectiva da conservação do patrimônio biológico, esta ação é estratégica, pois o refinamento na localização e na caracterização da biodiversidade brasileira é fundamental para que os tomadores de decisão priorizem objetivamente os alvos de conservação das futuras áreas protegidas (Dinerstein *et al.* 2005).

Este trabalho tem como objetivos: realizar uma classificação mais precisa da vegetação associada às cangas no Quadrilátero Ferrífero a partir da análise dos elementos florísticos, de suas formas de crescimento e das fisionomias mais frequentes; e investigar se há distinção florística e fitogeográfica entre essa vegetação em relação à vegetação de cinco áreas inseridas em sistemas rupestres em Minas Gerais e Bahia.

Material e Métodos

No Quadrilátero Ferrífero, região central de Minas Gerais, compõem o geossistema ferruginoso rochas com alta concentração de ferro, constituintes das Formações Cauê e Gandarela (Grupo Itabira, Supergrupo Minas), e as cangas que as recobrem. O termo canga, na verdade uma corruptela de tapanhoacanga, foi introduzido na nomenclatura geológica por Wilhelm Ludwig von Eschwege no início do século XIX, juntamente com a definição do termo itabirito, a partir de descrições de amostras coletadas em localidades-tipo inseridas no Quadrilátero Ferrífero (Renger 2005). Essa localidade abrangia originalmente cerca de 185 km² de cangas (Baltazar 2005).

Um banco de dados foi constituído a partir de estudos florísticos exclusivos de cangas no Quadrilátero Ferrífero situadas entre 900 e 1.850 m, predominando os afloramentos localizados acima de 1.400 m (Jacobi *et al.* 2007; Mourão & Stehmann 2007; Viana & Lombardi 2007; Jacobi & Carmo 2012). Foram incluídas as espécies afins de outros táxons, variedades e espécies novas para a ciência e excluídas as exóticas e invasoras, resultando em 1.080 táxons de angiospermas, distribuídos em 102 famílias e 418 gêneros.

Caracterização da Vegetação sobre as cangas

A vegetação foi caracterizada de acordo com a descrição das principais sinúsias e as formas de crescimento das espécies, composto pela proporção de árvores, arbustos, subarbustos, ervas, palmeiras, parasitas e trepadeiras, adaptado de Viana & Lombardi (2007).

Contexto Fitogeográfico

Foram excluídas as espécies não descritas e os táxons identificados apenas em nível genérico, resultando em 980 espécies. Para cada uma dessas, foram determinados a distribuição geográfica, a partir da ocorrência por estado, e os domínios fitogeográficos seguindo Jacobi & Carmo (2012) e a Lista de Espécies da Flora do Brasil (2012).

Foram comparadas também as relações florísticas entre a vegetação que ocorre nas cangas e em cinco sistemas quartzíticos, dos quais quatro estão inseridos na Cadeia do Espinhaço

(MG/BA), onde predominam os campos rupestres (*sensu* Giulietti *et al.* 1997), e um na Serra de São José (Tab. 1), município de Tiradentes (MG), no limite com a Zona da Mata mineira. Com exceção do presente banco de dados de cangas, composto por espécies exclusivamente inventariadas em afloramentos, todos os outros consideraram também as espécies inventariadas nas fisionomias de cerrado, caatinga e floresta estacional semidecidual. A área total de coleta nas cangas foi o somatório da superfície de 18 afloramentos cuja distância média linear entre eles foi de 39 km.

Tabela 1 – Localização e caracterização das seis áreas contendo sistemas rochosos que integraram o banco de dados do presente estudo.

| Local | Altitude máx (m) | Área (km ²) | Angiospermas (n ^o) | | | Domínio Fitogeográfico |
|--|---------------------|----------------------------|--------------------------------|---------|----------|--------------------------------|
| | | | Famílias | Gêneros | Espécies | |
| 1. Catolés, Cadeia do Espinhaço, BA (Zappi <i>et al.</i> 2003) | 2.033 | 667 | 123 | 584 | 1.669 | Caatinga |
| 2. Pico das Almas, Cadeia do Espinhaço, BA (Stannard 1995) | 1.958 | 170 | 110 | 396 | 994 | Caatinga |
| 3. Grão-Mogol, Cadeia do Espinhaço, MG (Pirani <i>et al.</i> 2003) | 1.250 | 100 | 111 | 452 | 1.078 | Cerrado |
| 4. Serra do Cipó, Cadeia do Espinhaço, MG (Giulietti <i>et al.</i> 1987) | 1.500 | 200 | 122 | 508 | 1.555 | Cerrado |
| 5. Quadrilátero Ferrífero, MG | 1.880* | 6* | 102 | 418 | 1.080 | Mata [#] Atlântica |
| 6. Serra de São José, MG (Alves & Kolbek, 2009) | 1.430 | 25 | 108 | 428 | 1.077 | Mata Atlântica |

* para ocorrência de cangas – * for cangas occurrences

[#] Spósito & Stehmann (2006); Fundação SOS Mata Atlântica (2011)

A análise de classificação baseou-se em uma matriz de similaridade em nível genérico. Para as seis localidades foi encontrado um total de 920 gêneros de angiospermas. Cada gênero foi quantificado pelo número de espécies (incluindo espécies afins, variedades e espécies novas para a ciência) extraídos das listas florísticas. Foi necessária atualização nomenclatural, seguindo a Lista de Espécies da Flora do Brasil (2012), uma vez que as floras foram

publicadas ao longo dos últimos 25 anos, trazendo diferentes delimitações no nível genérico. Entre as atualizações estão as de espécies de *Vernonia* atualmente estabelecidas, por exemplo, em *Lepidaploa*, *Lessingianthus* e *Vernonanthura*; *Panicum* em *Apocloa* e *Ocellochloa*; *Maxillaria* em *Christensonella*.

Realizou-se, com auxílio do programa PAST (Hammer *et al.* 2001), uma análise de agrupamentos por médias não ponderadas (UPGMA) e o índice de similaridade de Bray-Curtis. A robustez dos grupos foi verificada através de 5.000 repetições aleatórias onde, para cada raiz de um agrupamento, foi informada a porcentagem de vezes que incluiu um mesmo conjunto de objetos.

Para cada uma das localidades foram identificados os 25 gêneros com maior riqueza específica e foram construídos diagramas ternários para visualizar o posicionamento destes gêneros ao longo de um gradiente, ou setores fitogeográficos. O posicionamento de um gênero no diagrama foi estabelecido a partir de três coordenadas geradas pela soma da proporção relativa da sua frequência encontrada nas duas localidades inseridas no Espinhaço baiano (domínio da Caatinga); duas no Espinhaço mineiro (domínio do Cerrado); e duas no setor centro-sul mineiro (domínio da Mata Atlântica). Dessa forma, quanto mais próximo um gênero estiver de um vértice, maior a influência fitogeográfica do domínio representado. A frequência total foi definida como a soma do número de vezes que as espécies ocorreram nas localidades.

Resultados e Discussão

Caracterização da vegetação sobre as cangas

As ervas (37%) constituem a forma de crescimento mais frequente entre as espécies, seguida pelos arbustos (21%), subarbustos (20%), árvores (11%) e trepadeiras (10%). Parasitas e palmeiras somam 1% (Fig. 1). As espécies herbáceas foram mais frequentes entre as famílias Poaceae (99), Orchidaceae (79), Cyperaceae (43), Bromeliaceae (28) e Eriocaulaceae (27). Em geral, o componente herbáceo não forma um estrato contínuo ao longo das couraças, praticamente não ocorrendo nos setores onde o elevado grau de cimentação da canga determina um substrato bastante compacto e conhecido como lajeado. Nesses setores, as espécies rupícolas predominantes são as de crescimento clonal, destacando-se as ilhas de *Trilepis lhotzkiana* Nees (Cyperaceae), *Acianthera teres* (Lindl.) Borba (Orchidaceae) e *Vellozia* spp. (Velloziaceae).

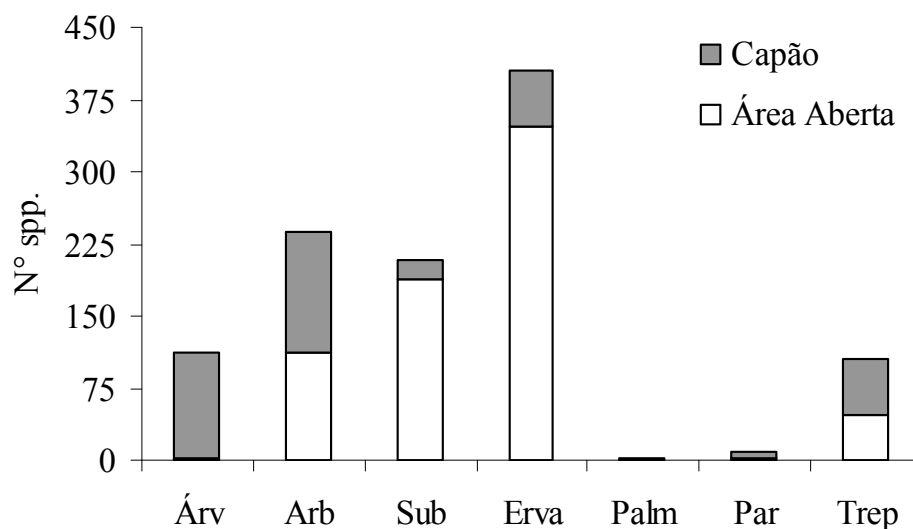


Figura 1 - Formas de crescimento da vegetação em cangas do Quadrilátero Ferrífero, MG. Árv: árvore; Arb. Arbusto; Sub: subarbusto; Palm: palmeira; Par: parasita; Trep: trepadeira.

As espécies arbustivas mais frequentes pertencem a Asteraceae (28), Solanaceae e Melastomataceae (27 cada), Verbenaceae (20) e Malpighiaceae (16). Asteraceae e Rubiaceae caracterizaram-se pela maior riqueza de espécies subarbustivas, com 93 e 23 respectivamente. As trepadeiras foram mais frequentes entre as Apocynaceae (31), Asteraceae (15) e Fabaceae (10). Lorantaceae e Santalaceae apresentaram ao total seis espécies hemiparasitas e Apodanthaceae e Convolvulaceae somaram duas holoparasitas. Entre as árvores, destacam-se pela riqueza específica as famílias Myrtaceae (29), Melastomataceae (15) e Lauraceae (14). Pelo mesmo critério, destacam-se os gêneros *Myrcia* (15), *Miconia* (14) e *Ocotea* (8).

A contribuição relativa de algumas formas de crescimento pode variar bastante tanto entre as cangas quanto ao longo da superfície de uma mesma couraça. As espécies arbóreas, arbustivas e as trepadeiras, por exemplo, ocorrem concentradas em sinúsias associadas a vestibulos de cavernas (clarabóias), a grandes depressões e fendas no substrato que, dependendo da canga, distribuem-se de forma agregada ou aleatória no espaço. Estas sinúsias podem assumir desde um aspecto semelhante ao escrube descrito por Caiafa & Silva (2005) até a fisionomia e porte de um capão de mata, com algumas árvores atingindo 15 m de altura como as Fabaceae *Abarema obovata* (Benth.) Barneby & J.W. Grimes e *Copaifera langsdorffii* Desf. e a Myrtaceae *Calyptanthus clusiifolia* O. Berg. Esses ambientes representam em média de 10% a 30% da área total de uma couraça (Carmo & Jacobi 2012), raramente somando mais de 50% da superfície de uma canga. Entre os gêneros mais numerosos contendo espécies arbustivas e frequentemente associados a essas sinúsias estão

Solanum (13), *Leandra* (8), *Symplocos* (7) e *Psychotria* (6). Entre as epífitas, predominam os gêneros *Tillandsia* (6) e *Peperomia* (4) e entre as trepadeiras, predominam *Mikania* (14), *Passiflora* (6), *Dioscorea* e *Serjania* (4 cada).

Quando na couraça ocorre elevada quantidade de fissuras e fendas, os gêneros mais característicos da vegetação graminóide e com a maior riqueza específica são *Paspalum* e *Panicum* (13 cada), *Rhynchospora* (11), *Andropogon* e *Axonopus* (8 cada). Nesses setores, a estrutura horizontal da vegetação é geralmente dominada pelos arbustos (Rizzini 1979; Viana & Lombardi 2007; Jacobi *et al.* 2008b) que se desenvolvem mesmo na ausência de solo na superfície das couraças. Entre eles, os gêneros com a maior riqueza específica foram *Stachytarpheta* (7), *Byrsonima* e *Lippia* (6), *Baccharis*, *Lychnophora* e *Mimosa* (4 cada). Provavelmente, o predomínio dos arbustos na fisionomia geral também está relacionado a uma das características mais singulares das cangas, a presença de milhares de micro e mesocavidades (centimétricas) que contribuem, juntamente com as centenas de macrocavernas já inventariadas, para a elevada heterogeneidade espacial subsuperficial.

Onde a umidade permanece elevada durante todo o ano, como vestíbulos de cavernas, canais de drenagem, lagoas e brejos, os gêneros mais abundantes e habitualmente encontrados são *Paepalanthus* (16), *Xyris* (15), *Habenaria* (8) e *Eleocharis* (5). As lagoas e brejos estão restritos a poucas cangas no Quadrilátero Ferrífero, abrangendo uma área total estimada menor que 300 ha. Constituem os únicos ambientes brejosos conhecidos no Brasil e desenvolvidos nos geossistemas ferruginosos que podem atingir cotas altitudinais superiores a 1.300 m.

Todas essas características geomorfológicas e topográficas, gerando diversos tipos de habitats, contribuem para a elevada variabilidade entre as proporções relativas de cada forma de crescimento e, portanto, para a variabilidade fisionômica entre e dentro das cangas. Essa relação entre a heterogeneidade espacial e a variação na estrutura e na composição da vegetação em sistemas rochosos é bem estabelecida na literatura brasileira (Ribeiro & Medina 2002; Caiafa & Silva 2005; Conceição & Pirani 2005). O que distingue as cangas da maioria dos sistemas rochosos conhecidos é sua heterogeneidade espacial subsuperficial que favorece uma relevante parcela da biomassa vegetal, representada pelo sistema radicular, a desenvolver-se pelos espaços das cavidades subterrâneas e pelas fendas, formando estruturas excepcionais como rizotemas e tufo suspensos no seu interior (Ferreira 2005; Carmo & Jacobi 2012).

Contexto Fitogeográfico

De acordo com a distribuição geográfica, as espécies inventariadas nas cangas foram inseridas em cinco grupos: Grupo 1) espécies restritas ao estado de Minas Gerais (17%), a maioria exclusivamente associada aos ambientes rupestres da Cadeia do Espinhaço, e com cerca de 60 espécies endêmicas do Quadrilátero Ferrífero (Jacobi & Carmo, 2012); Grupo 2) espécies que ocorreram nos estados de MG e BA (3%), predominantemente na Cadeia do Espinhaço; Grupo 3) espécies restritas à região Sudeste (8%); Grupo 4) espécies com ampla distribuição, porém ainda exclusivas do Brasil (37%); Grupo 5) espécies não exclusivas do Brasil (35%). Incluem-se neste último as espécies subespontâneas, tais como *Emilia fosbergii* Nicolson, *Hypoxis decumbens* L. e *Solanum americanum* Mill.

Na Cadeia do Espinhaço, diversos autores identificaram cinco padrões de distribuição geográfica para as espécies de campos rupestres: espécies endêmicas do Espinhaço; espécies disjuntas entre o Espinhaço e áreas rupestres em Goiás; disjunção entre o Espinhaço e a restinga; disjunção entre o Espinhaço e os tepuis do norte da América do Sul; e espécies de ampla distribuição geográfica (Giulietti *et al.* 1987; Harley 1995; Rapini *et al.* 2008). Dois desses padrões foram nitidamente observados nas cangas: espécies endêmicas da Cadeia do Espinhaço e espécies amplamente distribuídas. Os outros três padrões não foram claramente estabelecidos para as couças ferruginosas. Apenas duas das 980 espécies inventariadas também ocorrem em áreas disjuntas nas restingas do leste do Brasil (seguindo Alves *et al.* 2007), 23 espécies em áreas disjuntas em Goiás, e três espécies ocorrem também nos tepuis (seguindo Harley 1995; Alves *et al.* 2007).

Os domínios fitogeográficos com maior influência na vegetação associada às cangas foram a Mata Atlântica e o Cerrado. Do total de espécies, 18% foram exclusivas do domínio Atlântico. No componente arbustivo-arbóreo são frequentes os elementos florísticos característicos dos topos de montanhas do leste do país, como *Calypttranthes clusiifolia* O. Berg, *Eremanthus incanus* (Less.) Less., *Geonoma schottiana* Mart e *Symplocos celastrinea* Mart. Elementos característicos das matas nebulares (*sensu* Valente *et al.*, 2011) do domínio Atlântico são igualmente habituais, como *Clethra scabra* Pers., *Drimys brasiliensis* Miers, *Guapira opposita* (Vell.) Reiz, *Psychotria stachyoides* Benth. e *Weinmannia paulliniifolia* Pohl ex Ser. (Oliveira-Filho & Fontes 2000; Pereira *et al.* 2006). No componente herbáceo das áreas abertas, destaca-se na fisionomia a espécie endêmica das cangas do Quadrilátero *Paspalum brachytrichum* Hack.

As espécies exclusivas do domínio Cerrado totalizaram 16%, a maioria ocorrendo na Cadeia do Espinhaço mineiro e nos estados de Goiás e São Paulo. As espécies desse grupo estão associadas frequentemente ao componente herbáceo-arbustivo das áreas abertas, como

Aspilia subpetiolata Baker, *Calea rotundifolia* (Less.) Baker, *Galianthe angustifolia* (Cham. & Schltl.) E.L. Cabral e *Hyptis rotundifolia* Benth. Entre os gêneros com mais espécies estão *Cattleya*, *Stachytarpheta* e *Vellozia*.

As espécies que ocorrem tanto no Cerrado quanto na Mata Atlântica somam 20% do total e predominam em duas sinúrias: a arbustivo-arbórea e a campestre. *Leandra aurea* (Cham.) Cogn. e *Vochysia emarginata* (Vahl) Poir. integram o primeiro componente. *Chromolaena decumbens* Gardner e *Sporobolus reflexus* Boechat & Longhi Wagner inserem-se no segundo componente da vegetação.

As espécies que ocorrem nos domínios Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga somaram 12% do total. Integram esse grupo *Chaptalia integerrima* (Vell.) Burkart, *Diodella radula* (Willd. ex Roem. & Schult.) Delprete, *Matelea pedalis* (E.Fourn.) Fontella & E.A.Schwarz, *Pfaffia jubata* Mart e *Symplocos oblongifolia* Casar. As espécies que se distribuem entre as várias combinações fitogeográficas somam 34% do total (Tab. 2) e, entre elas, estão *Anthurium scandens* (Aubl.) Engl., *Baccharis retusa* DC., *Bulbostylis capillaris* (L.) C.B. Clarke, *Centropogon cornutus* (L.) Druce, *Pyrostegia venusta* (Ker Gawl.) Miers e *Tripodanthus acutifolius* (Ruiz & Pav.) Tiegh.

Nas cangas, uma relevante fração das espécies consideradas de ampla distribuição no Brasil (Grupo 4, 37% do total) tem na realidade seus limites de ocorrência concentrados no leste do país, o que claramente relaciona-se com a inserção geográfica do Quadrilátero Ferrífero, no contato da Mata Atlântica com o Cerrado e recebendo uma forte influência de elementos florísticos característicos desses domínios fitogeográficos.

O problema da escala na definição de padrões fitogeográficos quando a informação limita-se a unidades políticas já foi apontado por Alves & Kolbek (2010). Entre os reflexos diretos desse viés estão a superestimativa da amplitude das áreas de ocorrência e a falta de distinção entre os ambientes ou habitats, principalmente quando o foco do estudo são as plantas exclusivas a certos tipos de substratos ou limitadas a elevadas cotas altitudinais. Nessas situações, as populações de espécies geralmente distribuem-se em áreas restritas que podem, por sua vez, estar insularmente distribuídas por enormes extensões. Assim, um refinamento da informação sobre os locais e os habitats das espécies inventariadas nas cangas, consideradas no presente trabalho de ampla distribuição, poderá contribuir para uma melhor delimitação da sua área de ocorrência. Ao mesmo tempo, poderá contribuir para uma distinção mais evidente entre um grupo de espécies restrito aos sistemas rupestres (elementos florísticos de formações azonais), um grupo exclusivo das formações zonais e um grupo de

espécies que pode ocorrer em ambos e, portanto, constituído por elementos florísticos generalistas.

Tabela 2 – Domínios fitogeográficos das espécies inventariadas nas cangas do Quadrilátero Ferrífero, MG. MA: Mata Atlântica; CE: Cerrado; CA: Caatinga; AM: Amazônia; PM: Pampa.

| Domínio Fitogeográfico | n° spp. | % |
|-------------------------------|----------------|------------|
| MA | 180 | 18,5 |
| CE | 159 | 16,2 |
| CE; MA | 198 | 20,2 |
| CA; CE; MA | 119 | 12,1 |
| AM; CA; CE ; MA | 89 | 9,1 |
| CA; CE | 39 | 4,0 |
| AM; CE; MA | 29 | 3,0 |
| CE; MA; PM | 17 | 1,7 |
| AM; CA; CE | 16 | 1,6 |
| AM; CE | 8 | 0,8 |
| outros | 30 | 3,0 |
| todos | 93 | 9,5 |
| desconhecido | 3 | 0,3 |
| Total | 980 | 100 |

De acordo com a análise de similaridade, um agrupamento foi gerado pelas quatro áreas inseridas na Cadeia do Espinhaço, ou província fitogeográfica do Espinhaço (Giulietti *et al.* 1997): Pico das Almas + Catolés agrupando-se a Grão-Mogol e em seguida à Serra do Cipó. As cangas juntamente com a Serra de São José formaram um grupo distinto. Em todos os casos, valores de *bootstrap* entre 77 e 95 indicaram forte coesão entre os agrupamentos formados com similaridades entre 55% e 65% (Fig. 2).

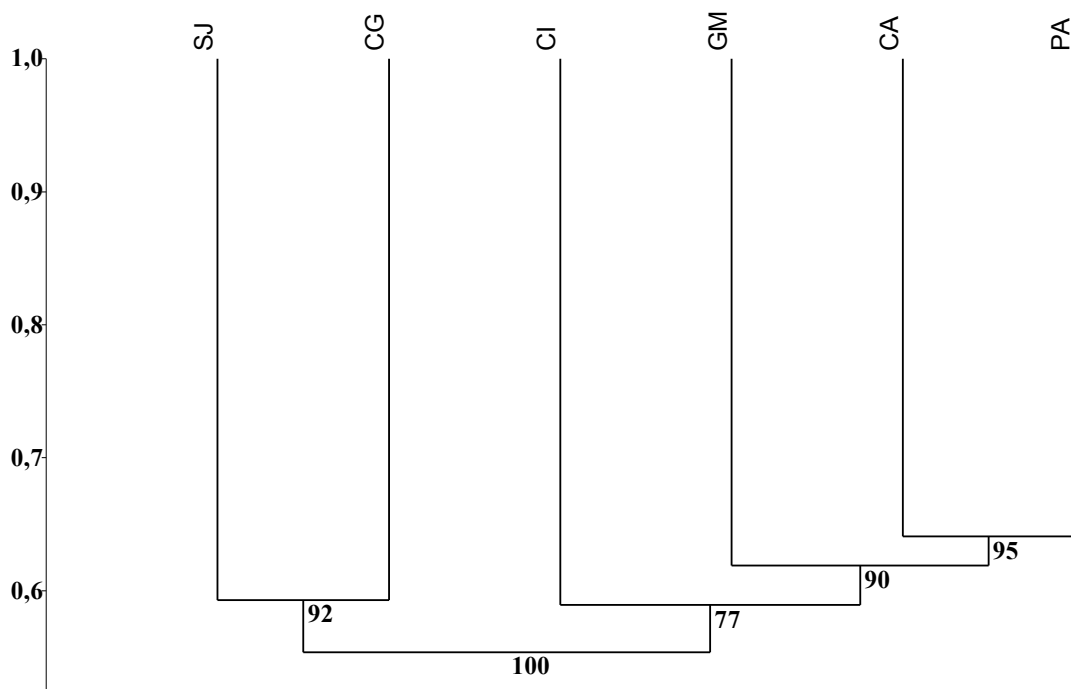


Figura 2 – Dendrograma de similaridade baseado no número de espécies de 920 gêneros de angiospermas (UPGMA; coeficiente de similaridade Bray-Curtis: cc 0,884). *Bootstrap*: 5000 repetições. SJ: Serra de São José; CG: Cangas; CI: Serra do Cipó; GM: Grão-Mogol; CA: Catolés; PA: Pico das Almas.

Os 25 gêneros com a maior riqueza abrigaram entre 24 e 33% do total de espécies de cada uma das seis localidades e resultaram em um conjunto de 64 gêneros (Tab. 3). *Xyris* foi o gênero mais frequente (139), seguido por *Paepalanthus* (128), *Hyptis* (95), *Chamaecrista* (94), *Microlicia* (93), *Miconia* (86), *Vellozia* (84), *Rhynchospora* (79), *Baccharis* (75) e *Myrcia* (75). Apenas quatro gêneros não ocorreram em todas as localidades. *Agrianthus* ocorreu em Catolés e Pico das Almas, sendo endêmico da Bahia (Ferreira 2012) e predominando nos sistemas rupestres da Chapada Diamantina (Stannard 1995). *Philodendron*, por outro lado, é ausente naquelas duas áreas. *Eriope* não foi amostrado para a S. São José e *Siphocampylus* não ocorreu em Grão-Mogol.

Tabela 3 – Os 25 gêneros de angiospermas com maior número de espécies (cinza) em cada localidade (ver Tabela 1), ordenados a partir dos valores nas cangas do Quadrilátero Ferrífero, MG. Cod.: códigos da Figura 3.

| Gênero | Cod. | Mata Atlântica | | Cerrado | | Caatinga | |
|-------------------------------------|------|------------------|----------|--------------|----------|--------------|---------|
| | | Setor Centro-Sul | | Espinhaço MG | | Espinhaço BA | |
| | | Cangas | S.S.José | S. Cipó | G. Mogol | P. Almas | Catolés |
| <i>Solanum</i> (Solanaceae) | so | 19 | 11 | 1 | 6 | 7 | 10 |
| <i>Baccharis</i> (Asteraceae) | | 18 | 11 | 15 | 4 | 14 | 13 |
| <i>Paepalanthus</i> (Eriocaulaceae) | 2 | 16 | 10 | 41 | 14 | 15 | 32 |
| <i>Myrcia</i> (Myrtaceae) | | 16 | 8 | 16 | 10 | 10 | 15 |
| <i>Mikania</i> (Asteraceae) | | 16 | 3 | 16 | 8 | 8 | 18 |
| <i>Xyris</i> (Xyridaceae) | xy | 15 | 11 | 44 | 18 | 31 | 20 |
| <i>Miconia</i> (Melastomataceae) | | 14 | 14 | 15 | 13 | 16 | 14 |
| <i>Paspalum</i> (Poaceae) | ps | 13 | 5 | 22 | 5 | 5 | 8 |
| <i>Panicum</i> (Poaceae) | | 13 | 4 | 5 | 9 | 14 | 5 |
| <i>Rhynchospora</i> (Cyperaceae) | | 11 | 18 | 15 | 12 | 14 | 9 |
| <i>Lippia</i> (Verbenaceae) | | 10 | 5 | 18 | 9 | 4 | 20 |
| <i>Microlicia</i> (Melastomataceae) | mc | 9 | 9 | 21 | 6 | 17 | 31 |
| <i>Polygala</i> (Polygalaceae) | | 9 | 8 | 20 | 9 | 9 | 14 |
| <i>Tibouchina</i> (Melastomataceae) | tb | 9 | 11 | 12 | 5 | 3 | 9 |
| <i>Ditassa</i> (Apocynaceae) | di | 9 | 6 | 9 | 11 | 3 | 8 |
| <i>Ocotea</i> (Lauraceae) | | 9 | 2 | 10 | 4 | 5 | 8 |
| <i>Vellozia</i> (Velloziaceae) | ve | 8 | 4 | 36 | 14 | 9 | 13 |
| <i>Habenaria</i> (Orchidaceae) | | 8 | 8 | 13 | 4 | 11 | 11 |
| <i>Mimosa</i> (Fabaceae) | | 8 | 3 | 12 | 11 | 7 | 11 |
| <i>Leandra</i> (Melastomataceae) | le | 8 | 10 | 7 | 2 | 6 | 13 |
| <i>Peperomia</i> (Piperaceae) | pp | 8 | 9 | 4 | 3 | 3 | 12 |
| <i>Stachytarpheta</i> (Verbenaceae) | st | 8 | 3 | 4 | 4 | 4 | 14 |
| <i>Chromolaena</i> (Asteraceae) | | 8 | 4 | 11 | 1 | 4 | 8 |
| <i>Axonopus</i> (Poaceae) | ax | 8 | 1 | 16 | 3 | 2 | 4 |
| <i>Andropogon</i> (Poaceae) | an | 8 | 5 | 3 | 3 | 2 | 4 |
| <i>Cattleya</i> (Orchidaceae) | ct | 8 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| <i>Chamaecrista</i> (Fabaceae) | 6 | 7 | 8 | 23 | 22 | 7 | 27 |
| <i>Epidendrum</i> (Orchidaceae) | ep | 7 | 10 | 7 | 3 | 5 | 8 |
| <i>Dyckia</i> (Bromeliaceae) | dy | 7 | 5 | 14 | 1 | 2 | 1 |

| | | | | | | | |
|--|----|---|----|----|----|----|----|
| <i>Croton</i> (Euphorbiaceae) | cr | 6 | 11 | 9 | 11 | 10 | 19 |
| <i>Eugenia</i> (Myrtaceae) | 5 | 6 | 5 | 6 | 11 | 4 | 15 |
| <i>Byrsonima</i> (Malpighiaceae) | | 6 | 7 | 13 | 5 | 6 | 5 |
| <i>Tillandsia</i> (Bromeliaceae) | | 6 | 7 | 5 | 7 | 4 | 6 |
| <i>Psychotria</i> (Rubiaceae) | | 6 | 3 | 5 | 7 | 5 | 7 |
| <i>Lessingianthus</i> (Asteraceae) | ls | 6 | 3 | 13 | 3 | 2 | 6 |
| <i>Cuphea</i> (Lythraceae) | | 5 | 7 | 11 | 7 | 5 | 10 |
| <i>Banisteoripsis</i> (Malpighiaceae) | 7 | 5 | 3 | 11 | 8 | 4 | 8 |
| <i>Mandevilla</i> (Apocynaceae) | | 5 | 9 | 5 | 5 | 5 | 7 |
| <i>Senna</i> (Fabaceae) | se | 5 | 3 | 6 | 7 | 2 | 8 |
| <i>Eleocharis</i> (Cyperaceae) | | 5 | 3 | 3 | 3 | 7 | 1 |
| <i>Hyptis</i> (Lamiaceae) | hy | 4 | 19 | 16 | 8 | 15 | 33 |
| <i>Lychnophora</i> (Asteraceae) | ly | 4 | 5 | 13 | 7 | 6 | 10 |
| <i>Gaylussacia</i> (Ericaceae) | gy | 4 | 5 | 17 | 5 | 5 | 8 |
| <i>Erythroxylum</i> (Erythroxylaceae) | 8 | 4 | 5 | 7 | 13 | 6 | 6 |
| <i>Heteropterys</i> (Malpighiaceae) | | 4 | 4 | 5 | 7 | 3 | 10 |
| <i>Barbacenia</i> (Velloziaceae) | ba | 3 | 2 | 23 | 4 | 2 | 4 |
| <i>Lagenocarpus</i> (Cyperaceae) | | 3 | 6 | 9 | 1 | 7 | 5 |
| <i>Turnera</i> (Turneraceae) | tu | 3 | 3 | 5 | 9 | 3 | 4 |
| <i>Aspilia</i> (Asteraceae) | as | 3 | 7 | 4 | 2 | 4 | 3 |
| <i>Syngonanthus</i> (Eriocaulaceae) | sy | 2 | 10 | 19 | 8 | 5 | 13 |
| <i>Phoradendron</i> (Santalaceae) | po | 2 | 6 | 4 | 6 | 12 | 17 |
| <i>Cambessedesia</i> (Melastomataceae) | cm | 2 | 3 | 3 | 2 | 7 | 8 |
| <i>Sebastiania</i> (Euphorbiaceae) | sb | 2 | 1 | 5 | 7 | 5 | 5 |
| <i>Eryngium</i> (Apiaceae) | eg | 2 | 7 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| <i>Siphocampylus</i> (Campanulaceae) | sp | 2 | 7 | 4 | 0 | 1 | 1 |
| <i>Utricularia</i> (Lentibulariaceae) | ut | 1 | 9 | 10 | 8 | 13 | 13 |
| <i>Calliandra</i> (Fabaceae) | cl | 1 | 2 | 3 | 4 | 7 | 25 |
| <i>Leiothrix</i> (Eriocaulaceae) | lx | 1 | 1 | 19 | 5 | 5 | 7 |
| <i>Gomphrena</i> (Amaranthaceae) | go | 1 | 4 | 10 | 4 | 8 | 8 |
| <i>Lavoisiera</i> (Melastomataceae) | lv | 1 | 1 | 17 | 3 | 4 | 7 |
| <i>Eriope</i> (Lamiaceae) | er | 1 | 0 | 4 | 3 | 9 | 15 |
| <i>Marcetia</i> (Melastomataceae) | mr | 1 | 1 | 1 | 2 | 7 | 16 |
| <i>Philodendron</i> (Araceae) | ph | 1 | 7 | 3 | 2 | 0 | 0 |
| <i>Agrianthus</i> (Asteraceae) | ag | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 8 |

Xyris foi o gênero com a maior riqueza nas localidades da Serra do Cipó (44) e em Pico das Almas (31). *Hyptis* foi o gênero com a maior riqueza em Catolés (33) e na Serra de São José (19) e *Chamaecrista* (22) em Grão-Mogol. Nas cangas, o maior número de espécies correspondeu ao gênero *Solanum* (19), representando a única localidade cujo gênero mais abundante não é característico da vegetação rupestre. Este fato relaciona-se ao elevado número de capões que favorece condições ambientais adequadas para as espécies ecotonais de *Solanum* (Mourão & Stehmann 2007; Jacobi & Carmo 2008a), especialmente quando ocorrem em cotas altitudinais acima de 1.000 m (Valente *et al.* 2011).

Gêneros com centros de diversidade na Cadeia do Espinhaço, tais como *Chamaecrista*, *Hyptis* e *Syngonanthus* (Harley 1996; Costa *et al.* 2008; Rando & Pirani 2011) ou frequentes como *Croton* e *Utricularia* (Harley 1995; Rapini *et al.* 2008) figuram entre os 25 gêneros com a maior riqueza específica nas localidades inseridas em sistemas quartzíticos, mas não entre os 25 encontrados nas cangas do Quadrilátero. Outros gêneros frequentes nos campos rupestres como *Camarea* e *Drosera* (Mamede 1990; Ferrero & Mello-Silva 2011) ainda não foram amostrados nas couraças ferruginosas do Quadrilátero, embora estejam presentes nas outras cinco localidades (Tab. 1) e também em áreas brejosas desenvolvidas em matriz quartzítica ou filítica localizadas a poucas centenas de metros das cangas inventariadas. Esse padrão pode correlacionar-se com a constituição mineralógica das cangas, basicamente caracterizada pelas elevadas concentrações de minerais metálicos, notadamente o ferro (Silva 1992; Schaefer *et al.* 2008; Vincent & Meguro 2008).

Outra situação que distingue a vegetação das cangas é a pouca influência de elementos florísticos de Eriocaulaceae e Xyridaceae na fisionomia ou aspecto estrutural campestre (Viana & Lombardi 2007; Jacobi & Carmo 2008a; 2008b; Echternacht *et al.* 2012) quando comparado aos sistemas quartzíticos localizados no Espinhaço e na Serra de São José, onde essas sempre-vivas se destacam no estrato herbáceo (Giulietti & Hensold 1990; Harley 1995; Costa *et al.* 2008; Alves & Kolbek 2009). Provavelmente, a ausência de solos arenosos e/ou a menor abrangência de ambientes brejosos reduzem a disponibilidade de habitat adequado ao estabelecimento daquelas famílias nas cangas.

No nível específico, vários levantamentos florísticos destacaram a elevada diversidade beta entre as áreas inventariadas no Espinhaço, principalmente entre as porções baiana e mineira, devido a uma possível barreira migratória representada por uma disjunção de 300 km entre as duas porções (Azevedo & van den Berg 2007; Rapini *et al.* 2008). No presente estudo, a diversidade beta medida a partir das diferenças de riqueza dos gêneros foi relativamente menos pronunciada, agrupando as quatro áreas inseridas na província

fitogeográfica do Espinhaço e segregando-as das cangas e da Serra de São José, apesar das distâncias entre a Serra do Cipó e o Quadrilátero e entre a Serra do Cipó e a Serra de São José serem inferiores a 90 km e 190 km, respectivamente. Os diagramas ternários construídos a partir da frequência dos 25 gêneros com maior riqueza de cada uma das áreas podem auxiliar nessa análise (Fig. 3).

A nuvem de pontos no centro dos diagramas corresponde aos gêneros que obtiveram equivalência nas proporções relativas (entre 25% a 39%) de frequência, independente do domínio fitogeográfico. *A priori*, a frequência desses gêneros relaciona-se mais com a ocorrência de ambientes adequados como, por exemplo, os capões e as áreas brejosas, fornecendo condições favoráveis ao estabelecimento de espécies de *Cuphea*, *Eleocharis*, *Eugenia*, *Habenaria*, *Miconia*, *Mikania*, *Myrcia*, *Ocotea*, *Oxypetalum*, *Passiflora*, *Psychotria*, *Rhynchospora* e *Tillandsia* (Giulietti *et al.* 1987; Harley 1995; Meguro *et al.* 1996; Ritter & Waechter 2004; Carmo & Jacobi 2012). Os gêneros *Baccharis*, *Chromolaena*, *Lagenocarpus*, *Mandevilla* e *Panicum* formam um grupo caracterizado pela elevada representatividade nos sistemas rupestres, campestres e savânicos do centro-leste do Brasil (Giulietti *et al.* 1987; Harley 1995; Pirani *et al.* 2003; Rapini *et al.* 2008; Viana & Filgueiras 2008; Heiden *et al.* 2010) e, portanto, também obtiveram equivalência nas frequências entre as localidades. Todos esses gêneros estão representados nos diagramas apenas pelos seus pontos correspondentes.

Para alguns casos, o posicionamento do gênero no diagrama pode estar diretamente correlacionado à influência de elementos florísticos da matriz circundante. Por exemplo, gêneros muito diversos no Domínio Atlântico como *Leandra*, *Peperomia*, *Philodendron*, *Solanum* e *Tibouchina* (Oliveira-Filho & Fontes 2000; Sakuragui 2000; Monteiro & Guimarães 2008; Goldenberg *et al.* 2012) posicionaram-se no setor Mata Atlântica ou próximos dele. A elevada riqueza de *Axonopus* na Serra do Cipó deve-se à inserção dessa área no Domínio Cerrado, onde o gênero é especialmente abundante (Viana & Filgueiras, 2008). O posicionamento dos gêneros *Chamaecrista*, *Gomphrena*, *Lessingianthus*, *Mimosa* e *Paspalum* próximos aos setores Cerrado ou Caatinga relaciona-se à riqueza específica dos mesmos tanto na vegetação associada aos sistemas rupestres quanto nas fisionomias savânicas do centro-leste do Brasil (Giulietti *et al.* 1997; Simon & Proença 2000; Dematteis & Angulo 2010; Rando & Pirani 2011).

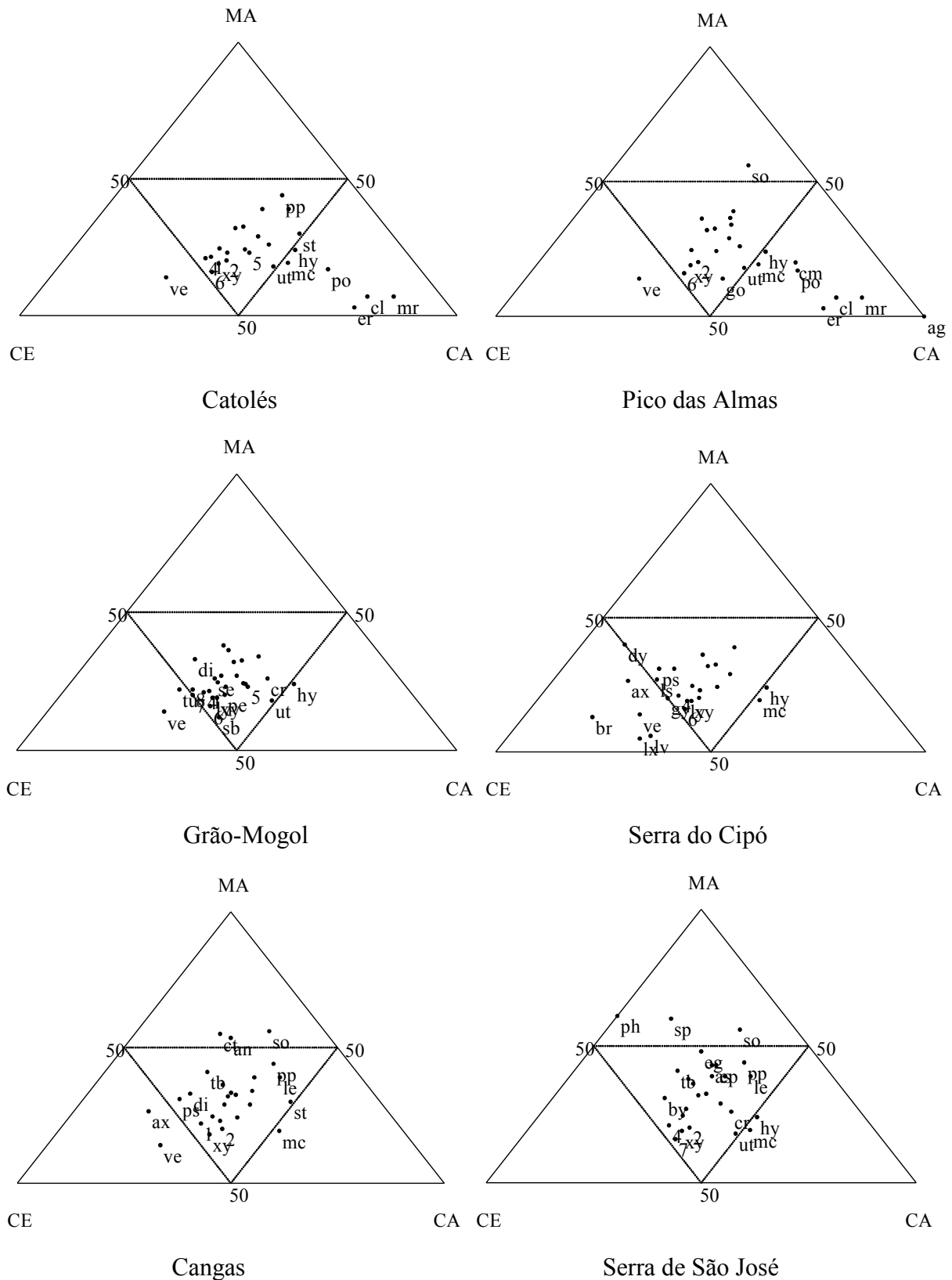


Figura 3 – Diagramas ternários obtidos a partir da frequência dos 25 gêneros com maior riqueza em cada uma das seis áreas investigadas. MA: setor Mata Atlântica; CE: setor Cerrado; CA: setor Caatinga. Consultar a Tabela 3 para a identificação dos códigos.

Por outro lado, centros de diversidade representados principalmente pela Cadeia do Espinhaço estão relacionados ao posicionamento de gêneros como *Barbacenia*, *Dyckia*, *Lavoisiera*, *Leiothrix*, *Vellozia* e *Turnera* no setor Cerrado (Giulietti & Forero 1990; Giulietti & Hensold 1990; Giulietti *et al.* 1997; Rapini *et al.* 2008; Versieux *et al.* 2008; Arbo & Giulietti 2009). Da mesma forma, no setor da Caatinga, centros de diversidade estão relacionados ao posicionamento de *Agrianthus*, *Calliandra*, *Cambessedesia*, *Eriope*, *Hyptis*, *Marcetia* e *Microlicia* (Harley 1996; Romero 2003; Rapini *et al.* 2008). O posicionamento de *Stachytarpheta* sofreu influência do elevado número de espécies encontradas nas cangas (oito) e por isso não foi inserido totalmente no setor da Caatinga, um dos principais centros de endemismo do gênero (Atkins 2005), que concentrou 49% da frequência total observada.

As condições climáticas favoráveis, associadas à latitude ou à altitude, podem contribuir para o posicionamento de alguns gêneros como, por exemplo, *Andropogon* no setor Mata Atlântica. Garcia *et al.* (2009) comentam que temperaturas médias anuais entre 10-20 °C e médias entre 5-15 °C para o inverno são condições adequadas para a tribo Andropogoneae. Estas condições são semelhantes às encontradas no Quadrilátero e na região da Serra de S. José, especialmente nas altitudes acima de 1.200 m (Oliveira-Filho *et al.* 2005; ALMG 2012).

Estudos sobre a similaridade florística e fitogeografia que incluíram as localidades onde predominam os sistemas rupestres da Cadeia do Espinhaço e do Quadrilátero citaram entre os principais determinantes das comunidades vegetais a disponibilidade de habitat, a influência fitogeográfica e geodáfica (Azevedo & van den Berg 2007; Dutra *et al.* 2008; Viana & Filgueiras 2008; Borges *et al.* 2010; Abreu *et al.* 2011).

A distinção das cangas entre as áreas localizadas na Cadeia do Espinhaço pode indicar - além de uma maior influência florística do Domínio Atlântico - o fator determinístico do substrato. Para a vegetação metalófila em geral (*sensu* Whiting *et al.* 2002), a questão geodáfica constitui o principal fator estruturador das comunidades (Kruckeberg 2004). Gibson *et al.* (2010) demonstraram alta correlação entre raridade e endemismo na flora associada às formações ferríferas na Austrália, identificando-as como ‘hotspots’ para a diversidade de plantas. No presente estudo, esse fator pode ser especialmente determinante para alguns grupos. *Cattleya*, por exemplo, foi o gênero com o maior número de espécies entre as Orchidaceae inventariadas nas cangas, sendo um terço das espécies endêmicas do Quadrilátero e algumas espécies, mesmo não restritas, concentrando suas populações principalmente nas couraças ferruginosas (Mota *et al.* 2012). O Quadrilátero pode ser considerado um ‘hotspot’ (*sensu* Gibson *et al.* 2010) também para Bromeliaceae, onde as

espécies endêmicas da região atingem um terço do total inventariado nas cangas (Versieux 2011, 2012) e para Convolvulaceae, com 26% das espécies restritas a localidade (Simão-Bianchini 2012).

O fator geoedáfico parece não ter sido predominante para o posicionamento da Serra de São José. Nesta área, em comparação com os outros sistemas quartzíticos, ocorreu considerável similaridade entre a abundância de alguns gêneros típicos dos campos rupestres (Tab. 3) mas, por outro lado, houve entre os 25 gêneros com a maior riqueza alguns que apareceram apenas na Serra de São José, como *Eryngium*, *Philodendron* e *Siphocampylus*. Entre esses, várias espécies ocorrem apenas no domínio Atlântico, mas aparentemente não são restritas a este. Então, a distinção da Serra de São José parece relacionar-se mais com a influência florística devido a sua proximidade com a Zona da Mata mineira, fator provavelmente responsável pela sua segregação do agrupamento formado pelas áreas localizadas na Cadeia do Espinhaço e pelo seu agrupamento com as cangas.

A constituição mineralógica, a heterogeneidade espacial, a restrição geográfica e a vulnerabilidade distinguem as cangas dos outros sistemas rochosos brasileiros (Carmo & Jacobi 2012). Em comparação com os sistemas quartzíticos, principalmente os inseridos na Cadeia do Espinhaço, pode-se fazer uma distinção da vegetação das cangas, sustentada pela maior influência de elementos florísticos do domínio Atlântico, elevada frequência de sinúcias formadas por árvores e arbustos; riqueza singular de gêneros como *Solanum*, *Andropogon* e *Cattleya* e a pouca influência de elementos de alguns gêneros típicos dos campos rupestres na fisionomia campestre das couraças ferruginosas.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao US Fish and Wildlife Service pelos financiamentos de projetos em cangas. Ao CNPq pelas bolsas concedidas a FFC (doutorado) e CMJ (PQ 2). Aos taxonomistas pela valiosa colaboração para a elaboração das listas florísticas. Aos revisores do trabalho pelas contribuições.

Referências Bibliográficas

Abreu, N.L.; Neto, L.M. & Konno, T.U.P. 2011. Orchidaceae das Serras Negra e do Funil, Rio Preto, Minas Gerais, e similaridade florística entre formações campestres e florestais do Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 25(1): 58-70.

- ALMG. Assembléia Legislativa de Minas Gerais. *Municípios de Minas*. Disponível em http://www.almg.gov.br/consulte/info_sobre_minas. Acesso em 17 de abril 2012.
- Alves, R.J.V. & Kolbek, J. 2009. Summit vascular flora of Serra de São José, Minas Gerais, Brazil. *Check list* 5(1): 35-73.
- Alves, R.J.V. & Kolbek, J. 2010. Can campo rupestre vegetation be floristically delimited based on vascular plant genera? *Plant Ecology* 207(1): 67-79.
- Alves, R.J.V.; Cardin, L. & Kropf, M.S. 2007. Angiosperm disjunction “Campos rupestres-restingas”: a re-evaluation. *Acta Botanica Brasilica* 21(3): 675-685.
- Arbo, M.M. & Giulietti, A.M. 2009. Turneraceae. *In*: Giulietti, A.M.; Rapini, A.; Andrade, M.J.G.; Queiroz, L.P. & Silva, J.M.C. (Org.). 2009. *Plantas Raras do Brasil*. Conservation International, Belo Horizonte. 496 p.
- Atkins, S. 2005. The genus *Stachytarpheta* (Verbenaceae) in Brazil. *Kew Bulletin* 60(1):161-272.
- Azevedo, C.O. & van den Berg, C. 2007. A família Orchidaceae no Parque Municipal de Mucugê, Bahia, Brasil. *Hoehnea* 34(1): 1-47.
- 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.
- Bertrand, G. 1972. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. *Caderno de Ciências da Terra* 13(1): 1-27.
- Borges, R.A.X.; Saavedra, M.M. & Nakajima, J.N. 2010. The Asteraceae flora of the Serra do Ibitipoca: analyses of its diversity and distribution compared with selected areas in Brazilian mountain. *Systematic and Biodiversity* 8(4): 471-479.
- Bussel, J.D. & James, S.H. 1997. Rocks as museums of evolutionary processes. *Journal of the Royal Society of Western Australia* 80(3): 221-229.
- Caiafa, A. N. & Silva, A. F. 2005. Composição florística e espectro biológico de um campo de altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia* 56(87): 163-173.
- Carmo, F.F., Carmo, F.F., Salgado, A.A.R. & Jacobi, C.M. 2011. Novo sítio espeleológico em sistemas ferruginosos no Vale do Rio Peixe Bravo, Norte de Minas Gerais, Brasil. *Espeleo-Tema* 22(1): 79-93.

- Carmo, F.F. & Jacobi, C.M. 2012. As Cangas do Quadrilátero Ferrífero. *In*: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Orgs.). *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. Pp. 1-13.
- Carmo, F.F.; Carmo, F.F.; Campos, I.C. & Jacobi, C.M. 2012. Cangas: Ilhas de Ferro Estratégicas para a Conservação. *Ciência Hoje* 295(50): 48-53.
- 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. Pp 30-51.
- Conceição, A. A. & Pirani, J. R. 2005. Delimitação de habitats em campos rupestres na Chapada Diamantina, Bahia: substrato, composição florística e aspectos estruturais. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo* 23(1): 85-111.
- Costa, F. N.; Trovó, M. & Sano, P. T. 2008. Eriocaulaceae na Cadeia do Espinhaço: riqueza, endemismo e ameaças. *Megadiversidade* 4(1-2): 117-125.
- Dematteis, M. & Angulo, M.B. 2010. Additions to the genus *Lessingianthus* (Asteraceae, Vernonieae) from South America. *Rodriguésia* 61(2): 233-241.
- 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. 177 p.
- Dorr II, J. v. N. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. United States Geological Survey. Prof. Paper, 641-A. Washington. 110 p.
- Dutra, V.F.; Garcia, F.C.P.; Lima, H.C. & Queiroz, L.P. 2008. Diversidade florística de Leguminosae Adans. em áreas de campos rupestres. *Megadiversidade* 4(1-2): 117-125.
- Echternacht, L.; Trovó, M. & Sano, P.K. 2012. Eriocaulaceae. *In*: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Orgs.). *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. Pp. 114-119.
- Ferreira, R. L. 2005. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. *O Carste* 3(17): 106-115.
- Ferreira, S.C. 2012. *Agrianthus*. *In*: Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2012/FB015937>. Acesso em 20 de maio de 2012.
- Ferrero, R. & Mello-Silva, R. 2011. Droseraceae do Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais, Brasil. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo* 29(1): 13-18.

- Fundação SOS Mata Atlântica. 2011. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica Período 2008-2010. 122 p. Disponível em <http://www.sosma.org.br/projeto/atlas-da-mata-atlantica>. Acesso em 22 de dezembro de 2012.
- Garcia, R.J.F.; Longhi-Wagner, H.M.; Pirani, J.R. & Meirelles, S.T. 2009. A contribution to the phytogeography of Brazilian campos: an analysis based on Poaceae. *Revista Brasileira de Botânica* 32(4): 703-713.
- Gibson, N.; Yates, C.J. & Dillon, R. 2010. Plant communities of the ironstone ranges of South Western Australia: hotspots for plant diversity and mineral deposits. *Biodiversity and Conservation* 19(14): 3951–3962.
- 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): 1-151.
- Giulietti, A. M. & Forero, E. 1990. Diversidade Taxonômica e Padrões de Distribuição das Angiospermas Brasileiras. Introdução. *Acta Botanica Brasilica* 4(1): 3-10.
- Giulietti, A. M. & Hensold, N. 1990. Padrões de distribuição geográfica dos gêneros de Eriocaulaceae. *Acta Botanica Brasilica* 4(1): 133-158.
- 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>. Acesso em 10 de janeiro de 2012.
- Giulietti, A.M.; Rapini, A.; Andrade, M.J.G; Queiroz, L.P. & Silva, J.M.C. (Org.). 2009. Plantas Raras do Brasil. Conservation International, Belo Horizonte. 496 p.
- Goldenberg, R.; Baumgratz, J.F.A. & M.L. Souza. 2012. Taxonomia de Melastomataceae no Brasil: retrospectiva, perspectivas e chave de identificação para os gêneros. *Rodriguésia* 63(1): 145-161.
- Hammer, Ø.; Harper, D.A.T. & P. D. Ryan, 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 1-9.
- Harley, R.M. 1995. Introdução. *In*: Stannard, B.L. (Ed.) *Flora of Pico das Almas, Chapada Diamantina, Bahia, Brazil*. Royal Botanic Gardens, Kew. 853 p.
- Harley, R.M. 1996. The Labiatae of Bahia: a preliminary check-list. *Sitientibus* 15:11-21.
- Heiden, G; Iganci, J.R.V.; Bobrowski, V.L. & Macias, L. 2010. Biogeografia de *Baccharis* sect. *Caulopterae* (Asteraceae) no Rio Grande do Sul, Brasil. *Rodriguésia* 58(4): 787-796.

- 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(7): 2185-2200.
- Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. 2008a. Diversidade dos campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, MG. *Megadiversidade* 4(1-2): 24-32.
- Jacobi, C.M., Carmo, F.F. & Vincent, R.C. 2008b. Vegetação sobre canga e seu potencial para reabilitação ambiental no Quadrilátero Ferrífero, MG. *Revista Árvore* 32(2): 345-353.
- Jacobi, C.M.; Carmo, F.F. & Campos, I.C. 2011. Soaring Extinction Threats to Endemic Plants in Brazilian Metal-Rich Regions. *AMBIO* 40(5): 540-543.
- Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Orgs.) 2012. Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero. Ed. IDM, Belo Horizonte. 240 p.
- Jacobi, C.M., Carmo, F.F., Carmo, F.F. & Campos, I.C. Iron Geosystems: priority areas for conservation in Brazil. *In: Tibbett, M. (Ed.) Mining in Ecologically Sensitive Landscapes. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Collingwood. no prelo.*
- Kruckeberg, A.R. 2004. *Geology and plant life: the effects of landforms and rock types on plants.* University of Washington Press. 363 p.
- Lista de Espécies da Flora do Brasil. 2012. Disponível em <http://reflora.jbrj.gov.br/jabot/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ConsultaPublicaUC.do>. Acessos em 10 de janeiro de 2012 e 26 de março de 2013.
- Mamede, M.C.H. 1990. Revisão do gênero *Camarea* Saint-Hilaire (Malpighiaceae). *Hoehnea* 17(1): 1-34.
- Meguro, M.; Pirani, J.R.; Mello-Silva, R. & Giulietti, A.M. 1996. Estabelecimento de matas ripárias e capões nos ecossistemas campestres da Cadeia do Espinhaço, Minas Gerais. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo* 15(1): 1-11.
- Monteiro, D. & Guimarães, E.F. 2008. Flora do Parque Nacional do Itatiaia – Brasil: *Peperomia* (Piperaceae). *Rodriguésia* 59(1): 161-195.
- Mota, R.C.; Batista, J.A.N. & Borba, E.L. 2012. Orchidaceae. *In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Orgs.). Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero. Ed. IDM, Belo Horizonte. Pp. 158-162.*
- 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.

- Oliveira-Filho, A. T. & Fontes, M.A.L. 2000. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate. *Biotropica* 32(4b): 793-810.
- Oliveira-Filho, A.T.; Tameirão-Neto, E.; Carvalho, W.A.C.; Werneck, M.; Brina, A.E.; Vidal, C.V.; Resende, S.C. & Pereira, J.A.A. 2005. Análise florística do compartimento arbóreo de áreas de floresta atlântica *sensu lato* na região das bacias do leste (Bahia, Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro). *Rodriguésia* 56(87): 185-235.
- Pereira, I.M.; Oliveira-Filho, A.T.; Botelho, S.A.; Carvalho, W.A.C.; Fontes, M.A.L.; Schiavini, I. & Silva, A.F. 2006. Composição florística do compartimento arbóreo de cinco remanescentes do Maciço do Itatiaia, Minas Gerais e Rio de Janeiro. *Rodriguésia* 57(1): 103-126.
- 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): 1-24.
- Porto, M.L. & Silva, M.F.F. 1989. Tipos de vegetação metalófila em áreas de Serra de Carajás e de Minas Gerais. *Acta Botanica Brasilica* 3(1): 13-21.
- Rando, J.G. & Pirani, J.R. 2011. Padrões de distribuição geográfica das espécies de *Chamaecrista* sect. *Chamaecrista* ser. *Coriaceae* (Benth.) H. S. Irwin & Barneby, Leguminosae – Caesalpinioideae. *Revista Brasileira de Botânica* 34(4): 499-513.
- Rapini, A; Ribeiro, P.L. & Pirani, J.B. 2008. A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. *Megadiversidade* 4(1-2): 16-23.
- Renger, F.E. 2005. O “Quadro Geognóstico do Brasil” de Wilhelm Ludwig von Eschwege: breves comentários à sua visão da geologia do Brasil. *GEONOMOS* 13(1-2): 91-95.
- Ribeiro, K.T. & Medina, B.M.O. 2002. Estrutura, dinâmica e biogeografia das ilhas de vegetação sobre rocha do Planalto do Itatiaia, RJ. *Boletim do Parque Nacional do Itatiaia* 10: 1-82.
- Ritter, M.R. & Waechter, J.L. 2004. Biogeografia do gênero *Mikania* Willd. (Asteraceae) no Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 18(3): 643-652.
- Rizzini, C.T. 1979. Tratado de Fitogeografia do Brasil. Aspectos sociológicos e florísticos. HUCITEC/EDUSP, São Paulo. 374 p.
- Rodrigues, C. 2001. A Teoria Geossistêmica e sua Contribuição aos Estudos Geográficos e Ambientais. *Revista do Departamento de Geografia USP* 14: 69-77.
- Romero, R. 2003. Revisão taxonômica de *Microlicia* sect. *Chaetostomoides* (Melastomataceae). *Revista Brasileira de Botânica* 26(4): 429-435,

- Sakuragui, C.M. 2001. Biogeografia de *Philodendron* seção *Calostigma* (Schott) Pfeiffer (Araceae) no Brasil. *Acta Scientiarum* 23(2): 561-569.
- Scarano, F.R. 2007. Rock outcrop vegetation in Brazil: a brief overview. *Revista Brasileira de Botânica* 30(4): 561-568.
- Schaefer, C.E.G.R.; Mendonça, B.A.F. & Ribeiro, A.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*. UFMG/ ICB, Belo Horizonte.
- Schobbenhaus C. & Coelho C.E.S (Orgs.). 1986. Principais Depósitos Minerais do Brasil: Ferro e Metais da Indústria do Aço, v. 2. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília. 501 p.
- Semir, J. 1991. Revisão taxonômica de *Lychnophora* Mart. (Vernoniaceae:Compositae). Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 515 p.
- Silva, M.F.F. 1992. Distribuição de metais pesados na vegetação metalófila de Carajás. *Acta Botanica Brasilica* 6(1): 107-122.
- Silva, R.R. & Tozzi, A.M.G.A. 2011. Uma nova espécie de *Mimosa* L. (Leguminosae, Mimosoidea) do Centro-Oeste do Brasil. *Hoehnea* 38(1): 143-146.
- Simão-Bianchini, R. 2012. Convolvulaceae. *In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Orgs.). Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. Pp. 103-105.
- Simon, M.F. & Proença, C. 2000. Phytogeographic patterns of *Mimosa* (Mimosoideae, Leguminosae) in the *Cerrado* biome of Brazil: an indicator genus of high-altitude centers of endemism? *Biological Conservation* 96(3): 279-296.
- 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 Botanica Brasilica* 20(2): 347-362.
- Stannard, B.L. 1995. (Ed.) *Flora of Pico das Almas, Chapada Diamantina, Bahia, Brazil*. Royal Botanic Gardens, Kew. 853 p.
- Valente, A.S.M.; Garcia, P.O.; Salimena, F.R.G. & Oliveira-Filho, A.T. 2011. Composição, estrutura e similaridade florística da Floresta Atlântica na Serra Negra, Rio Preto – MG. *Rodriguésia* 62(2): 321-340.
- Versieux, L.M. 2011. Brazilian plants urgently needing conservation: the case of *Vriesea minarum* (Bromeliaceae). *Phytotaxa* 28(1): 35-49.

- Versieux, L.M. 2012. Bromeliaceae. *In*: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Orgs.). *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. Pp. 93-97.
- Versieux, L.M. & Wendt, T. 2007. Bromeliaceae diversity and conservation in Minas Gerais state, Brazil. *Biodiversity and Conservation* 16(11): 2989–3009.
- Versieux, L.M.; Wendt, T.; Louzada, R.B. & Wanderley, M.G.L. 2008. Bromeliaceae da Cadeia do Espinhaço. *Megadiversidade* 4(1-2): 98-110.
- Viana, P.L. & J.A. Lombardi. 2007. Florística e caracterização dos campos rupestres sobre canga na Serra da Calçada, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia* 58(1): 159-177.
- Viana, P.L. & Filgueiras, T.S. 2008. Inventário e distribuição geográfica das gramíneas (Poaceae) na Cadeia do Espinhaço, Brasil. *Megadiversidade* 4(1-2): 71-88.
- Vincent, R.C. & Meguro, M. 2008. Influence of soil properties on the abundance of plant species in ferruginous rocky soils vegetation, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 31(3): 377-388.
- Whiting, S.N.; Reeves, R.D. & Baker, A.J.M. 2002. Conserving Biodiversity: Mining Metallophytes and Land Reclamation. *Mining Environmental Management* 10(1): 11-16.
- Zappi, D.C.; Lucas, E.; Stannard, B.L.; Lughadha, E.N.; Pirani, J.R.; Queiroz, L.P.; Atkins, S.; Hind, D.J.N.; Giuletta, A.M.; Harley, R.M. & Carvalho, A.M. 2003. Lista das Plantas Vasculares de Catolés, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo* 21(2): 345-398.

CAPÍTULO 2

LISTA FLORÍSTICA DA VEGETAÇÃO EM GRANITO, GNAISSES E QUARTZITOS, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, SUDESTE DO BRASIL²

Flávio Fonseca do Carmo¹, Nara, F.O. Mota², Luiza Fonseca², Claudia Maria Jacobi¹

¹Departamento de Biologia Geral; ²Departamento de Biologia Geral - ICB, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901 Belo Horizonte, MG, Brazil

Resumo: O Quadrilátero Ferrífero (MG) representa uma área prioritária com importância extremamente alta para a conservação da biodiversidade brasileira. Entretanto, ainda são escassos os estudos florísticos em afloramentos de granito, gnaiss e quartzito. Assim, foi realizada uma lista florística das comunidades de plantas associadas a sete desses afloramentos. Foram encontradas 704 espécies/morfoespécies. As pteridófitas foram distribuídas entre 10 famílias e 21 gêneros e as angiospermas, entre 78 famílias e 281 gêneros. As famílias com maior número de espécies foram Asteraceae (108), Poaceae (86), Orchidaceae (47), Cyperaceae (37), Melastomataceae (35), Fabaceae (32), Rubiaceae (27), Myrtaceae (18), Apocynaceae e Bromeliaceae (14 cada) e Verbenaceae (13). As formas de crescimento predominantes foram as ervas (50%), seguida pelos subarbustos (20%), arbustos (18%) e trepadeiras (6%). Foram encontradas 15 espécies raras, a maioria com distribuição geográfica restrita ao Quadrilátero Ferrífero.

Introdução

Os afloramentos rochosos ocorrem geralmente nos topos e encostas de montanhas e são reconhecidos mundialmente como centros de diversidade e endemismo de plantas (Giulietti *et al.*, 1997; Porembski & Barthlott, 2000). No sudeste do Brasil, importantes centros de diversidade de plantas estão associados aos sistemas rochosos localizados nas Serras do Mar e da Mantiqueira e ao longo da Cadeia do Espinhaço (Giulietti *et al.*, 1997; Safford & Martinelli, 2000; Fiasch & Pirani, 2009).

O Quadrilátero Ferrífero (QF), região central de Minas Gerais, constitui um desses centros de diversidade e endemismos, sendo identificadas pelo menos 116 espécies restritas a localidade, a maioria ocorrendo apenas nos afloramentos rochosos (Carmo & Jacobi, 2012). O Quadrilátero representa uma área prioritária com importância extremamente alta para a conservação da biodiversidade brasileira (MMA, 2008). Essa classificação foi baseada em atributos como: formações geológicas únicas, importantes mananciais de abastecimento público e endemismos de fauna e flora. A geodiversidade do Quadrilátero é excepcional e em

² Capítulo formatado de acordo com os padrões do periódico *Check List*

algumas regiões, como as serras da Moeda e de Gandarela, vários litotipos afloram lado a lado (Dorr II, 1969; Carmo & Jacobi, 2012).

Alguns estudos focando a vegetação dos afloramentos rochosos ferruginosos – incluindo as cangas e os itabiritos – já foram realizados no Quadrilátero Ferrífero, como os de Grandi *et al.* (1998), Jacobi *et al.* (2007), Mourão & Stehmann (2007), Viana & Lombardi (2007) e Messias *et al.*, (2012; 2013). Apenas para as cangas, até o momento mais de 1.100 espécies de plantas vasculares, incluindo dezenas de espécies endêmicas, já foram catalogadas (Carmo & Jacobi, 2012). Entretanto, ainda são escassos os estudos florísticos que focaram os afloramentos granito-gnáissicos e quartzíticos. Entre eles, embora não sejam exclusivos de afloramentos quartzíticos, estão os desenvolvidos na Serra do Ouro Preto (Messias *et al.*, 2011) e na Serra de Itacolomi (Peron, 1989; Gastauer *et al.*, 2012). Para os afloramentos de granito e gnaiss ainda não foi publicado nenhum levantamento florístico desenvolvido na região.

O objetivo desse estudo foi produzir uma lista florística das comunidades de plantas associadas aos afloramentos de granito, gnaiss e quartzito, priorizando as localidades onde existem lacunas de conhecimento sobre a flora.

Material e Métodos

O Quadrilátero Ferrífero **QF**, abrangendo uma área de aproximadamente 7200 km², representa uma das paisagens mais antigas do Brasil (Carvalho-Filho *et al.*, 2010). Predomina na região o clima subtropical de altitude - segundo a classificação de Köppen - caracterizado pelo inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média anual varia em torno de 20 °C e a precipitação média anual varia em torno de 1 500 mm. No setor leste do Quadrilátero ocorrem os maiores índices pluviométricos, onde a região da Serra do Caraça apresenta uma média anual de 2.035 mm (Davis *et al.*, 2004).

Foram inventariados quatro afloramentos de quartzito e três granitóides, sendo dois de gnaiss e um de granito (Tab. 1). As coletas florísticas foram efetuadas entre 2008 e 2012 e as exsiccatas foram depositadas no herbário da Universidade Federal de Minas Gerais (BHCB). A nomenclatura das espécies e os nomes dos autores seguiram a Lista das Espécies da Flora do Brasil (2014).

A vegetação foi caracterizada de acordo com as formas de crescimento das espécies, composto pela proporção de árvores, arbustos, subarbustos, ervas, palmeiras, parasitas e trepadeiras, adaptado de Viana & Lombardi (2007). Foi determinada a distribuição geográfica, a partir dos domínios fitogeográficos, apenas para os táxons identificados até o

nível de espécie, seguindo Jacobi & Carmo (2012) e a Lista de Espécies da Flora do Brasil (2014).

Tabela 1 – Localização dos sete afloramentos rochosos inventariados, Quadrilátero Ferrífero, MG.

| Localidade/litotipo | UTM (23 K) | | Área (ha) | Altitude (m) |
|---------------------------------|------------|---------|-----------|--------------|
| PETI/Granito | 670771 | 7799877 | 9 | 800 |
| Serra da Moeda/Gnaiss | 610701 | 7752298 | 6 | 1090 |
| Serra da Moeda/ Gnaiss | 635851 | 7776359 | 7 | 1244 |
| Serra do Itacolomi/Quartzito | 658336 | 7740414 | 11 | 1620 |
| Serra do Rola Moça/ Quartzito | 601606 | 7780113 | 14 | 1300 |
| Serra da Água Limpa / Quartzito | 608722 | 7751696 | 22 | 1360 |
| Serra da Moeda /Quartzito | 608800 | 7756785 | 16 | 1470 |

Resultados

Até o momento foram identificadas 585 espécies, até o nível de gênero somam mais 98 morfoespécies. Vinte e uma morfoespécies ainda estão identificadas apenas por famílias, resultando em um conjunto de 704 espécies/morfoespécies. As pteridófitas foram distribuídas entre 10 famílias e 21 gêneros. As angiospermas foram representadas por 78 famílias e 281 gêneros (Tab. 2). Entre as famílias que apresentaram a maior riqueza estão Asteraceae (108), Poaceae (86), Orchidaceae (47), Cyperaceae (37), Melastomataceae (35), Fabaceae (32), Rubiaceae (27), Myrtaceae (18), Apocynaceae e Bromeliaceae (14 cada) e Verbenaceae (13). Os gêneros com maior número de espécies foram *Baccharis* e *Rhynchospora* (12 cada); *Paspalum* (11); *Bulbostylis* e *Mikania* (10 cada); *Anemia*, *Chromolaena*, *Myrcia*, *Panicum*, *Polygala* e *Xyris* (nove cada); *Andropogon* e *Lippia* (oito cada), *Aristida*, *Chamaecrista*, *Habenaria*, *Lessingianthus*, *Miconia*, *Microlicia* e *Paepalanthus* (sete cada).

As ervas representaram a forma de crescimento predominante (50%), seguida pelos subarbustos (20%), arbustos (18%), trepadeiras (6%), árvores (5%) e parasitas (1%). Apenas uma espécie de palmeira foi inventariada (Tab. 2; Fig. 1).

O domínio fitogeográfico predominante foi o Cerrado, com registro de 24% das espécies contra apenas 6% ocorrendo na Mata Atlântica. As espécies que ocorrem nestes dois domínios fitogeográficos atingiram 20% (Tab. 3). Os granitóides abrigaram a maior parcela

de espécies generalistas e/ou com distribuição frequente em formações abertas no domínio Cerrado. Entre essas espécies estão *Emilia fosbergii* Nicolson, *Erythroxylum tortuosum* Mart., *Gomphrena arborescens* L.f., *Calea fruticosa* (Gardner) Urbatsch, Zlotzky & Pruski, *Trachypogon spicatus* (L. f.) Kuntze. A maioria das espécies exclusivas da Mata Atlântica foram coletadas nos quartzitos, entre elas estão *Myrsine villosissima* A.DC., *Myrcia hartwegiana* (O. Berg) Kiaersk. e *Dyssochroma viridiflora* Miers. Entre as poucas espécies da Mata Atlântica coletadas exclusivamente nos granitóides estão *Billbergia zebrina* (Herb.) Lindl. e *Cheilanthes regnelliana* Mett., esta última parece ser restrita aos afloramentos de granito-gnaiss de Minas Gerais e São Paulo.

Um conjunto de 76 espécies possui distribuição geográfica apenas para Minas Gerais, a maioria ocorre associada a sistemas rochosos localizados na Cadeia do Espinhaço (Echternacht *et al.*, 2012; Gonçalves, 2012; Mello-Silva, 2012; Mota *et al.*, 2012; Pastore, 2012; Rapini, 2012; Salimena, 2012; Sobral, 2012; Teles & Hattori, 2012; Romero *et al.*, 2012; Viana, 2012), como *Accara elegans* (DC.) Landrum, *Apochloa molinioides* Trin., *Aspilia subpetiolata* Baker, *Barbacenia sellovii* Goethart & Henrard, *Cambessedesia corymbosa* Mart. & Schr. ex DC., *Cattleya crispata* (Thunb.) van den Berg, *Comolia sertularia* (DC.) Triana, *Ditassa linearis* Mart., *Lippia corymbosa* Cham., *Paepalanthus vellozioides* Korn., *Polygala bryoides* A.St.-Hil. & Moq., *Stachytarpheta commutata* Schauer e *Syagrus campestris* (Mart.) H. Wendl.

Foram encontradas 15 espécies raras (*sensu* Giulietti *et al.*, 2009), como *Crotalaria rufipila* Benth. e *Pitcairnia curvidens* L.B.Sm. & R.W.Read. A maioria das espécies raras possui distribuição geográfica restrita ao Quadrilátero Ferrífero (Souza, 2002; Teles & Hattori, 2012; Versieux, 2012; Simão-Bianchini, 2012; Mota *et al.*, 2012; Resende *et al.*, 2014): *Cattleya fournieri* (Cogn.) van den Berg, *C. kettieana* (Pabst) van den Berg, *Chaptalia martii* (Baker) Zardini, *Chromolaena multiflosculosa* (DC.) R.M.King & H.Rob., *Cryptanthus glazioui* Mez., *C. schwackeanus* Mez., *Jacquemontia prostrata* Choisy, *Lychnophora pinaster* Mart., *L. reticulata* Gardner, *Miconia pennipilis* Cogn., *Ossaea coriacea* (Naudin) Triana, *Vriesea clausseniana* (Baker) Mez. e *V. minarum* L.B.Sm.

Três novas ocorrências para Minas Gerais foram registradas, de acordo com a Lista das Espécies da Flora do Brasil (2014): *Ocellochloa latissima* (Mikan ex Trin.) Zuloaga & Morrone, *Stevia riedelii* Sch. Bip. ex Baker e *Xyris stenophylla* Alb. Nilsson.

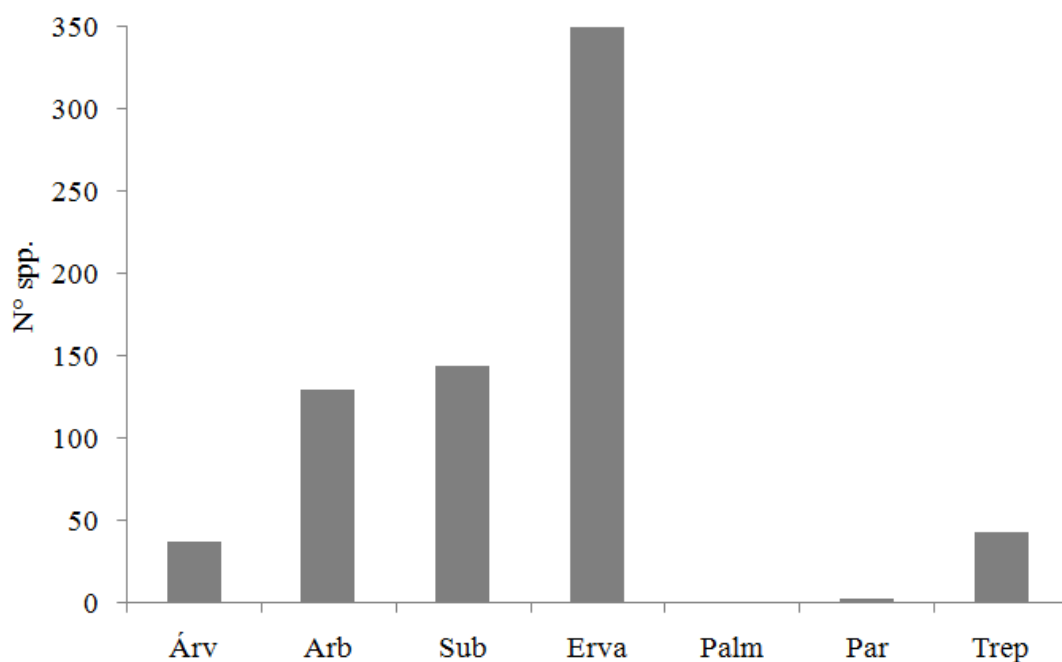


Figura 1- Formas de crescimento da vegetação em afloramentos de granito, gnaisses e quartzitos, Quadrilátero Ferrífero, MG. Árv: árvore; Arb. Arbusto; Sub: subarbusto; Palm: palmeira; Par: parasita; Trep: trepadeira.

Tabela 2 - Lista florística da vegetação em afloramentos de granito, gnaisses e quartzitos, Quadrilátero Ferrífero, MG. FC: forma de crescimento.

| Família/espécie | FC | Nº Coletor |
|--|------|------------|
| Pteridófitas | | |
| Anemiaceae | | |
| <i>Anemia cf. retroflexa</i> Brade | erva | 5242 |
| <i>Anemia ferruginea</i> Humb. & Bonpl. ex Kunth | erva | 5464 |
| <i>Anemia ferruginea</i> var. <i>ferruginea</i> H.B.K. | erva | 4195 |
| <i>Anemia imbricata</i> Sturm | erva | 3856 |
| <i>Anemia lanuginosa</i> Bong. ex Sturm | erva | 4571 |
| <i>Anemia oblongifolia</i> (Cav.) Sw. | erva | 4173 |
| <i>Anemia raddiana</i> Link. | erva | 3998 |
| <i>Anemia tomentosa</i> (Savigny) Sw. | erva | 4991 |
| <i>Anemia</i> sp. | erva | 5466 |
| Aspleniaceae | | |
| <i>Asplenium auritum</i> Sw. | erva | 4758 |
| Blechnaceae | | |
| <i>Blechnum polypodioides</i> Raddi | erva | 4005 |

| | | |
|---|------------|------|
| <i>Blechnum schomburgkii</i> (Klotzsch) C. Chr. | erva | 4872 |
| Cyatheaceae | | |
| <i>Cyathea delgadii</i> Sternb. | erva | 4896 |
| Dryopteridaceae | | |
| <i>Elaphoglossum glabellum</i> J. Sm. | erva | 4798 |
| <i>Elaphoglossum vagans</i> Heringer & Melo | erva | 4797 |
| <i>Rumohra adiantiformis</i> (G. Forst.) Ching | erva | 3347 |
| Gleicheniaceae | | |
| <i>Dicranopteris flexuosa</i> (Schrad.) Underw. | erva | 3983 |
| <i>Sticherus lanuginosus</i> (Fée) Nakai | erva | 4607 |
| Lycopodiaceae | | |
| <i>Huperzia</i> sp. | erva | 4802 |
| <i>Lycopodiella caroliniana</i> (L.) Pic. Serm. | erva | 4784 |
| Polypodiaceae | | |
| <i>Campyloneurum nitidum</i> (Kaulf.) C. Presl | erva | 4780 |
| <i>Cochlidium punctatum</i> (Raddi) L.E. Bishop | erva | 3312 |
| <i>Cochlidium serrutatum</i> (Sw.) L.E. Bishop | erva | 3386 |
| <i>Melpomene pilosissima</i> (M. Martens & Galeotti) A.R. Sm. & R.C. Moran | erva | 4790 |
| <i>Pecluma recurvata</i> (Kaulf.) M.G.Price | erva | 5438 |
| <i>Phlebodium pseudoaureum</i> (Cav.) Lellinger | erva | 5213 |
| <i>Pleopeltis macrocarpa</i> (Bory ex Willd.) Kaulf. | erva | 3307 |
| <i>Pleopeltis minarum</i> (Weath.) Salino | erva | 5529 |
| <i>Serpocaulon catharinae</i> (Langsd. & Fisch.) A.R. Sm. | erva | 4775 |
| Pteridaceae | | |
| <i>Cheilanthes goyazensis</i> (Taub.) Domin | erva | 5241 |
| <i>Cheilanthes regnelliana</i> Mett. | erva | 5235 |
| <i>Doryopteris collina</i> (Raddi) J. Sm. | erva | 4193 |
| <i>Doryopteris ornithopus</i> (Mett. ex. Hook & Baker) J. Sm. | erva | 4032 |
| <i>Pellaea crenata</i> R. M. Tryon | erva | 3953 |
| Selaginellaceae | | |
| <i>Selaginella fragillima</i> Silveira | erva | 4172 |
| <i>Selaginella</i> sp. 1 | erva | 5460 |
| <i>Selaginella</i> sp. 2 | erva | 4994 |
| Angiospermas | | |
| Acanthaceae | | |
| <i>Ruellia villosa</i> (Nees) Lindau | subarbusto | 4830 |
| Alstroemeriaceae | | |
| <i>Alstroemeria plantaginea</i> Mart. ex Schult. & Schult.f. | erva | 4047 |
| Amaranthaceae | | |
| <i>Gomphrena agrestis</i> Mart. | erva | 4630 |

| | | |
|---|------------|------|
| <i>Gomphrena arborescens</i> L.f. | erva | 3869 |
| <i>Gomphrena scapigera</i> Mart. | erva | 4850 |
| Amaryllidaceae | | |
| <i>Habranthus irwinianus</i> Ravenna | erva | 5106 |
| <i>Hippeastrum morelianum</i> Lem. | erva | 5222 |
| Annonaceae | | |
| <i>Duguetia furfuracea</i> (A.St.-Hil.) Saff. | arbusto | 3917 |
| <i>Guatteria villosissima</i> A.St.-Hil. | arbusto | 4831 |
| Apiaceae | | |
| <i>Eryngium canaliculatum</i> Cham. & Schltldl. | erva | 5404 |
| <i>Eryngium eurycephalum</i> Malme | erva | 4788 |
| <i>Eryngium</i> sp. | erva | 3960 |
| <i>Klotzschia brasiliensis</i> Cham. | erva | 4062 |
| Apocynaceae | | |
| <i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart. | árvore | 4464 |
| <i>Blepharodon pictum</i> (Vahl) W.D.Stevens | trepadeira | 4124 |
| <i>Ditassa equicymosa</i> E.Fourn. | trepadeira | 4759 |
| <i>Ditassa lenheirensis</i> Silveira | trepadeira | 4480 |
| <i>Ditassa linearis</i> Mart. | trepadeira | 4544 |
| <i>Ditassa pedunculata</i> Malme | trepadeira | 4028 |
| <i>Ditassa retusa</i> Mart. | trepadeira | 4855 |
| <i>Forsteronia velloziana</i> (A.DC.) Woodson | trepadeira | 3889 |
| <i>Mandevilla atrovioleaceae</i> (Stadelm.) Woodson | trepadeira | 4765 |
| <i>Mandevilla pohliana</i> (Stadelm.) A.H. Gentry | trepadeira | 3893 |
| <i>Mandevilla tenuifolia</i> (J.C. Mikan) Woodson | erva | 5383 |
| <i>Minaria decussata</i> (Mart.) T.U.P.Konno & Rapini | erva | 5009 |
| <i>Temnadenia violacea</i> (Vell.) Miers | subarbusto | 4200 |
| Apocynaceae sp. 1 | erva | 5367 |
| Aquifoliaceae | | |
| <i>Ilex</i> aff. <i>theezans</i> Mart. ex Reissek | arbusto | 4076 |
| <i>Ilex numularia</i> Reissek | arbusto | 3950 |
| Araceae | | |
| <i>Anthurium minarum</i> Sakuragui & Mayo | erva | 3302 |
| <i>Anthurium scandens</i> (Aubl.) Engl. | erva | 3364 |
| <i>Philodendron minarum</i> Engl. | erva | 4893 |
| Araliaceae | | |
| <i>Schefflera macrocarpa</i> (Cham. & Schltldl.) Frodin | arbusto | 3858 |
| Arecaceae | | |
| <i>Syagrus campestris</i> (Mart.) H. Wendl. | palmeira | 3934 |
| Aristolochiaceae | | |
| <i>Aristolochia</i> sp. 1 | erva | 3861 |

| | | |
|---|------------|------|
| <i>Aristolochia</i> sp. 2 | erva | 4170 |
| <i>Aristolochia</i> sp. 3 | erva | 4158 |
| <i>Aristolochia</i> sp. 4 | erva | 4919 |
| Asteraceae | | |
| <i>Achyrocline satureioides</i> (Lam.) DC. | subarbusto | 2158 |
| <i>Ageratum fastigiatum</i> (Gardner) R. M. King & H. Rob. | subarbusto | 3318 |
| <i>Ageratum myriadenium</i> (Baker) R.M.King & H.Rob. | subarbusto | 4624 |
| <i>Aldama robusta</i> Gardner | arbusto | 772 |
| <i>Aspilia fruticosa</i> Baker | subarbusto | 5374 |
| <i>Aspilia subpetiolata</i> Baker | subarbusto | 5006 |
| <i>Baccharis aphylla</i> DC. | subarbusto | 4772 |
| <i>Baccharis camporum</i> DC. | subarbusto | 797 |
| <i>Baccharis crispa</i> Spreng. | subarbusto | 4768 |
| <i>Baccharis dracunculifolia</i> DC. | arbusto | 773 |
| <i>Baccharis ligustrina</i> DC. | arbusto | 4859 |
| <i>Baccharis platypoda</i> DC. | arbusto | 3327 |
| <i>Baccharis reticularia</i> DC. | arbusto | 4833 |
| <i>Baccharis rufidula</i> (Spreng.) Joch. Müll. | subarbusto | 4864 |
| <i>Baccharis salzmännii</i> DC. | arbusto | 3336 |
| <i>Baccharis serrulata</i> Pers. | subarbusto | 755 |
| <i>Baccharis subdentata</i> DC. | subarbusto | 4605 |
| <i>Baccharis truncata</i> Gardner | subarbusto | 784 |
| <i>Bidens pilosa</i> L. | erva | 4487 |
| <i>Bidens</i> sp. | erva | 756 |
| <i>Calea clauseniana</i> Baker | arbusto | 3972 |
| <i>Calea fruticosa</i> (Gardner) Urbatsch, Zlotzky & Pruski | arbusto | 794 |
| <i>Calea rotundifolia</i> (Less.) Baker | subarbusto | 5521 |
| <i>Campuloclinium hirsutum</i> Gardner | subarbusto | 4070 |
| <i>Chaptalia</i> cf. <i>integrifolia</i> Vent. ex Spreng. | erva | 3292 |
| <i>Chaptalia martii</i> (Baker) Zardini | erva | 4848 |
| <i>Chresta sphaerocephala</i> DC. | arbusto | 776 |
| <i>Chromolaena barbacensis</i> (Hieron.) R.M. King & H. Rob. | subarbusto | 5044 |
| <i>Chromolaena campestris</i> (DC.) R.M. King & H. Rob. | subarbusto | 4599 |
| <i>Chromolaena</i> cf. <i>horminoides</i> DC. | subarbusto | 767 |
| <i>Chromolaena</i> cf. <i>squalida</i> (DC.) R.M.King & H.Rob. | subarbusto | 765 |
| <i>Chromolaena chaseae</i> (B.L. Rob.) R.M. King & H. Rob. | subarbusto | 4682 |
| <i>Chromolaena decumbens</i> Gardner | erva | 5021 |
| <i>Chromolaena multiflosculosa</i> (DC.) R.M.King & H.Rob. | subarbusto | 768 |
| <i>Chromolaena pedalis</i> (Sch. Bip. ex Baker) R.M. King & H. Rob. | subarbusto | 5014 |
| <i>Chromolaena</i> sp. | subarbusto | 758 |

| | | |
|---|------------|------|
| <i>Cyrtocymura scorpioides</i> (Lam.) H.Rob. | arbusto | 749 |
| <i>Dasyphyllum velutinum</i> (Baker) Cabrera | arbusto | 4612 |
| <i>Echinocoryne holosericea</i> (Mart. ex DC.) H. Rob. | subarbusto | 4843 |
| <i>Echinocoryne schwenkiifolia</i> (Mart. ex DC.) H. Rob. | subarbusto | 4895 |
| <i>Emilia fosbergii</i> Nicolson | subarbusto | 4198 |
| <i>Erechtites hieracifolius</i> (L.) Raf. ex DC. | subarbusto | 4201 |
| <i>Eremanthus crotonoides</i> (DC.) Sch. Bip. | arbusto | 5249 |
| <i>Eremanthus erythropappus</i> (DC.) MacLeish | árvore | 3279 |
| <i>Eremanthus glomerulatus</i> Less. | árvore | 4504 |
| <i>Eremanthus incanus</i> (Less.) Less. | árvore | 3363 |
| <i>Eupatorium semiamplexifolium</i> G.S.S. Almeida & Carvalho-Okano | subarbusto | 4900 |
| <i>Gamochaeta simplicicaulis</i> (Willd. Ex Spreng.) Cabrera | subarbusto | 4795 |
| <i>Gochnatia paniculata</i> (Less.) Cabrera | arbusto | 751 |
| <i>Gochnatia polymorpha</i> (Less.) Cabrera | arbusto | 593 |
| <i>Grazielia dimorpholepis</i> (Baker) R.M. King & H. Rob. | subarbusto | 4501 |
| <i>Grazielia intermedia</i> (DC.) R.M. King & H. Rob. | subarbusto | 5037 |
| <i>Heterocondylus amphidictyus</i> (DC.) R.M.King & H. Rob. | erva | 780 |
| <i>Heterocondylus pumilus</i> (Gardner) R.M.King & H. Rob. | erva | 778 |
| <i>Hoehnephytum trixoides</i> (Gardn.) Cabrera | arbusto | 3295 |
| <i>Inulopsis</i> aff. <i>camporum</i> Gardner | erva | 5018 |
| <i>Inulopsis scaposa</i> (Remy) O. Hoffm. | erva | 5414 |
| <i>Koanophyllon adamantium</i> (Gardner) R.M. King & H. Rob. | árvore | 4885 |
| <i>Lepidaploa cotoneaster</i> (Willd. ex Spreng.) H.Rob. | subarbusto | 5236 |
| <i>Lepidaploa lilacina</i> (Mart. ex DC.) H. Rob. | subarbusto | 4777 |
| <i>Lepidaploa remotiflora</i> (Rich.) H. Rob | subarbusto | 774 |
| <i>Lepidaploa rufogrisea</i> A.St. Hil. | subarbusto | 763 |
| <i>Lepidaploa vauthieriana</i> (DC.) H. Rob. | subarbusto | 777 |
| <i>Lessingianthus buddleiifolius</i> (Mart. ex DC.) H. Rob. | subarbusto | 5428 |
| <i>Lessingianthus hoveaefolius</i> (Gardner) H. Rob. | subarbusto | 789 |
| <i>Lessingianthus linearifolius</i> (Less.) H. Rob. | subarbusto | 4849 |
| <i>Lessingianthus linearis</i> (Spreng.) H.Rob. | subarbusto | 805 |
| <i>Lessingianthus psilophyllus</i> (DC.) H.Rob. | subarbusto | 4997 |
| <i>Lessingianthus rosmarinifolius</i> (Less.) H. Rob. | subarbusto | 5007 |
| <i>Lessingianthus warmingianus</i> (Baker) H. Rob. | subarbusto | 4141 |
| <i>Lychnophora pinaster</i> Mart. | arbusto | 803 |
| <i>Lychnophora reticulata</i> Gardner | arbusto | 4596 |
| <i>Lychnophora syncephala</i> Sch. Bip. | arbusto | 5391 |
| <i>Mikania</i> cf. <i>obtusata</i> DC. | trepadeira | 3293 |
| <i>Mikania glauca</i> Mart. | subarbusto | 4425 |

| | | |
|---|------------|------|
| <i>Mikania hirsutissima</i> DC. | trepadeira | 4799 |
| <i>Mikania leiolaena</i> DC. | trepadeira | 4458 |
| <i>Mikania nummularia</i> DC. | trepadeira | 4881 |
| <i>Mikania parvifolia</i> Baker | trepadeira | 3359 |
| <i>Mikania phaeoclados</i> Mart. | trepadeira | 4153 |
| <i>Mikania ramosissima</i> Gardner | trepadeira | 4863 |
| <i>Mikania rothii</i> G.M. Barroso | trepadeira | 4810 |
| <i>Mikania sessilifolia</i> DC. | subarbusto | 5043 |
| <i>Porophyllum angustissimum</i> Gardner | erva | 5016 |
| <i>Porophyllum ruderale</i> (Jacq.) Cass. | erva | 4694 |
| <i>Praxelis capillaris</i> Sch.Bip. | erva | 4653 |
| <i>Praxelis kleinoides</i> (Kunth) Sch.Bip. | subarbusto | 4542 |
| <i>Pseudobrickellia angustissima</i> (Spreng. ex Baker) R.M.King & H. Rob. | arbusto | 787 |
| <i>Richterago amplexifolia</i> Kuntze | erva | 3387 |
| <i>Richterago radiata</i> (Vell.) Roque | erva | 4490 |
| <i>Senecio adamantinus</i> Bang. | subarbusto | 3350 |
| <i>Senecio pohlii</i> Sch. Bip. ex Baker | subarbusto | 597 |
| <i>Stenophalium chionaea</i> (DC.) Anderb. | subarbusto | 5510 |
| <i>Stenophalium gardneri</i> Baker | subarbusto | 3284 |
| <i>Stevia clausenii</i> Sch.Bip. ex Baker | subarbusto | 4543 |
| <i>Stevia riedelii</i> Sch. Bip. ex Baker | subarbusto | 590 |
| <i>Stevia urticaefolia</i> Thunb. | arbusto | 5067 |
| <i>Symphyopappus cf. cuneatus</i> Sch. Bip. ex Baker | arbusto | 802 |
| <i>Symphyopappus reticulatus</i> Baker | arbusto | 4507 |
| <i>Symphyopappus</i> sp. | subarbusto | 5504 |
| <i>Trichogonia hirtiflora</i> Sch. Bip. ex Baker | subarbusto | 589 |
| <i>Trichogonia salviifolia</i> Gardner | subarbusto | 5379 |
| <i>Trichogonia villosa</i> Sch. Bip. ex Baker | subarbusto | 782 |
| <i>Trixis glutinosa</i> D. Don | arbusto | 4817 |
| <i>Trixis vauthieri</i> DC. | arbusto | 804 |
| <i>Trixis verbasciformis</i> Less. | subarbusto | 4616 |
| <i>Vernonanthura westiniana</i> (Less.) H. Rob. | arbusto | 4606 |
| <i>Vittetia orbiculata</i> (DC.) R.M. King & H. Rob. | arbusto | 3360 |
| Begoniaceae | | |
| <i>Begonia rufa</i> Thunb. | erva | 3301 |
| Bignoniaceae | | |
| <i>Cybistax antisiphilitica</i> Mart. | arbusto | 4463 |
| <i>Jacaranda caroba</i> (Vell.) A. DC. | arbusto | 4144 |
| <i>Pyrostegia venusta</i> (Ker Gawl.) Miers | trepadeira | 4681 |
| Bignoniaceae sp. 1 | arbusto | 4496 |

| | | |
|--|------------|------|
| Bignoniaceae sp. 2 | trepadeira | 5225 |
| Boraginaceae | | |
| <i>Cordia</i> cf. <i>curassavica</i> (Jacq.) Roem. & Schult. | arbusto | 3848 |
| Bromeliaceae | | |
| <i>Alcantarea turgida</i> Versieux & Wand. | erva | 5203 |
| <i>Billbergia elegans</i> Mart. ex Schult. f. | erva | 3308 |
| <i>Billbergia zebrina</i> (Herb.) Lindl. | erva | 5441 |
| <i>Cryptanthus glazioui</i> Mez. | erva | 4095 |
| <i>Cryptanthus schwackeanus</i> Mez | erva | 3306 |
| <i>Dyckia</i> aff. <i>trichostachya</i> Baker | erva | 4097 |
| <i>Dyckia saxatilis</i> Mez. | erva | 4449 |
| <i>Dyckia sordida</i> Baker | erva | 5202 |
| <i>Pitcairnia curvidens</i> L.B.Sm. & R.W.Read | erva | 3971 |
| <i>Tillandsia recurvata</i> (L.) L. | erva | 4450 |
| <i>Tillandsia streptocarpa</i> Baker | erva | 4476 |
| <i>Vriesea clauseniana</i> (Baker) Mez | erva | 3389 |
| <i>Vriesea minarum</i> L.B.Sm. | erva | 3962 |
| <i>Vriesea oligantha</i> (Baker) Mez | erva | 4427 |
| Cactaceae | | |
| <i>Rhipsalis floccosa</i> Salm-Dyck ex. Pfeiff. | erva | 4771 |
| Campanulaceae | | |
| <i>Siphocampylus nitidus</i> Pohl | subarbusto | 4781 |
| <i>Siphocampylus</i> sp. | arbusto | 4581 |
| Celastraceae | | |
| <i>Plenckia populnea</i> Reissek | árvore | 3909 |
| Clusiaceae | | |
| <i>Kielmeyera variabilis</i> Mart. & Zucc. | arbusto | 4647 |
| <i>Kielmeyera</i> sp. | arbusto | 5445 |
| Commelinaceae | | |
| <i>Commelina erecta</i> L. | erva | 5050 |
| <i>Commelina</i> sp. | erva | 5436 |
| Convolvulaceae | | |
| <i>Evolvulus filipes</i> Mart. | erva | 5055 |
| <i>Evolvulus linarioides</i> Meisn. | erva | 4205 |
| <i>Evolvulus lithospermoides</i> Mart. | subarbusto | 4040 |
| <i>Ipomoea</i> aff. <i>rupestris</i> Sim.-Bianch. & Pirani | trepadeira | 4053 |
| <i>Ipomoea patula</i> Choisy | trepadeira | 4184 |
| <i>Ipomoea procumbens</i> Mart. ex Choisy | trepadeira | 5063 |
| <i>Ipomoea rupestris</i> Sim.-Bianch. & Pirani | trepadeira | 4174 |
| <i>Jacquemontia prostrata</i> Choisy | subarbusto | 4865 |
| <i>Merremia macrocalyx</i> (Ruiz & Pav.) O'Donell | trepadeira | 4471 |

| | | |
|---|------------|------|
| <i>Merremia tomentosa</i> (Choisy) Hallier f. | trepadeira | 4837 |
| Cyperaceae | | |
| <i>Bulbostylis</i> aff. <i>consanguinea</i> (Kunth) C.B. Clarke | erva | 5081 |
| <i>Bulbostylis capillaris</i> (L.) C.B. Clarke | erva | 3875 |
| <i>Bulbostylis consanguinea</i> (Kunth) C.B. Clarke | erva | 4055 |
| <i>Bulbostylis fasciculata</i> Uittien | erva | 5075 |
| <i>Bulbostylis fimbriata</i> (Nees) C. B. Clarke | erva | 3872 |
| <i>Bulbostylis junciformis</i> (Kunth) C.B. Clarke | erva | 4169 |
| <i>Bulbostylis juncoides</i> (Vahl) Kük. ex Osten | erva | 5456 |
| <i>Bulbostylis</i> sp. 1 | erva | 4491 |
| <i>Bulbostylis</i> sp. 2 | erva | 4111 |
| <i>Bulbostylis</i> sp. 3 | erva | 3353 |
| <i>Cryptangium humile</i> (Nees) Boeck. | erva | 3337 |
| <i>Cryptangium minarum</i> (Nees) Boeck. | erva | 5553 |
| <i>Cryptangium</i> sp. | erva | 3877 |
| <i>Cyperus aggregatus</i> (Willd.) Endl. | erva | 3903 |
| <i>Cyperus esculentus</i> L. | erva | 4619 |
| <i>Fimbristylis complanata</i> (Retz.) Link | erva | 4540 |
| <i>Fimbristylis</i> sp. | erva | 4066 |
| <i>Lagenocarpus rigidus</i> Kunth | erva | 4104 |
| <i>Lagenocarpus tenuifolius</i> (Boeck.) C.B. Clarke | erva | 5371 |
| <i>Rhynchospora consanguinea</i> (Kunth) Boeck. | erva | 4494 |
| <i>Rhynchospora emaciata</i> (Nees) Boeck. | erva | 3901 |
| <i>Rhynchospora exaltata</i> Kunth | erva | 4917 |
| <i>Rhynchospora globosa</i> (Kunth) Roem. & Schult | erva | 4618 |
| <i>Rhynchospora rugosa</i> (Vahl) Gale | erva | 4030 |
| <i>Rhynchospora setigera</i> (Kunth) Boeck. | erva | 4955 |
| <i>Rhynchospora tenuis</i> Link | erva | 5457 |
| <i>Rhynchospora</i> sp. 1 | erva | 3974 |
| <i>Rhynchospora</i> sp. 2 | erva | 5503 |
| <i>Rhynchospora</i> sp. 3 | erva | 3365 |
| <i>Rhynchospora</i> sp. 4 | erva | 4944 |
| <i>Rhynchospora</i> sp. 5 | erva | 4888 |
| <i>Rhynchospora tenuis</i> Link | erva | 4102 |
| <i>Scleria acanthocarpa</i> Boeck. | erva | 4620 |
| <i>Scleria bracteata</i> Cav. | erva | 4661 |
| <i>Scleria distans</i> Poir. | erva | 3329 |
| <i>Scleria leptostachya</i> Kunth | erva | 5240 |
| <i>Scleria spicata</i> (Spreng.) J.C. Macbr | erva | 5081 |
| <i>Trileps lhotzkiana</i> Nees | erva | 3875 |
| Dilleniaceae | | |

| | | |
|---|------------|------|
| <i>Davilla elliptica</i> A.St.-Hil. | árvore | 5070 |
| Dioscoreaceae | | |
| <i>Dioscorea</i> sp. 1 | trepadeira | 4204 |
| <i>Dioscorea</i> sp. 2 | trepadeira | 4045 |
| <i>Dioscorea</i> sp. 3 | trepadeira | 5528 |
| <i>Dioscorea</i> sp. 4 | trepadeira | 4436 |
| Droseraceae | | |
| <i>Drosera</i> sp. 1 | erva | 4015 |
| <i>Drosera</i> sp. 2 | erva | 4783 |
| <i>Drosera</i> sp. 3 | erva | 4623 |
| Ebenaceae | | |
| <i>Diospyros sericea</i> A.DC. | árvore | 3846 |
| Ericaceae | | |
| <i>Agarista coriifolia</i> var. <i>coriifolia</i> (Thunb.) J.D. Hooker ex Nied. | subarbusto | 3298 |
| <i>Agarista pulchella</i> var. <i>cordifolia</i> (Meisn. in Mart.) Judd | subarbusto | 5036 |
| <i>Gaylussacia reticulata</i> var. <i>reticulata</i> Mart. ex Meisn. | subarbusto | 4149 |
| <i>Gaylussacia</i> sp.1 | subarbusto | 3970 |
| <i>Gaylussacia</i> sp. 2 | subarbusto | 3989 |
| Eriocaulaceae | | |
| <i>Actinocephalus bongardii</i> (A St.-Hil.) Sano | erva | 4804 |
| <i>Actinocephalus polyanthus</i> (Bong.) Sano | erva | 3976 |
| <i>Paepalanthus elongates</i> Korn. | erva | 3965 |
| <i>Paepalanthus scleranthus</i> Ruhland | erva | 4430 |
| <i>Paepalanthus spixianus</i> Mart. | erva | 4442 |
| <i>Paepalanthus vellozioides</i> Korn. | erva | 4574 |
| <i>Paepalanthus</i> sp. 1 | erva | 4553 |
| <i>Paepalanthus</i> sp. 2 | erva | 4012 |
| <i>Paepalanthus</i> sp. 3 | erva | 4445 |
| <i>Syngonanthus gracilis</i> (Bong.) Ruhland | erva | 4672 |
| Erythroxylaceae | | |
| <i>Erythroxylum loefgrenii</i> Diogo | arbusto | 3908 |
| <i>Erythroxylum suberosum</i> A.St.-Hil. | arbusto | 3896 |
| <i>Erythroxylum suberosum</i> var. <i>denudatum</i> O.E.Schulz | arbusto | 4822 |
| <i>Erythroxylum tortuosum</i> Mart. | arbusto | 5073 |
| <i>Erythroxylum</i> sp. | arbusto | 4757 |
| Euphorbiaceae | | |
| <i>Croton antisiphiliticus</i> Mart. | arbusto | 5469 |
| <i>Croton campestris</i> A.St.-Hil. | subarbusto | 3870 |
| <i>Croton siderophyllus</i> Baill. | subarbusto | 4121 |
| <i>Croton timandroides</i> (Didr.) Muell Arg. | subarbusto | 3959 |

| | | |
|--|------------|------|
| <i>Croton</i> sp. | subarbusto | 5513 |
| <i>Euphorbia portulacoides</i> L. | erva | 3995 |
| <i>Euphorbia potentilloides</i> Boiss. | erva | 4920 |
| <i>Manihot</i> sp. | arbusto | 5232 |
| <i>Microstachys daphnoides</i> (Mart.) Mull. Arg. | subarbusto | 4148 |
| Fabaceae | | |
| <i>Acosmium dasycarpum</i> (Vogel) Yakovlev | árvore | 3855 |
| <i>Aeschynomene paniculata</i> Willd. ex Vogel | erva | 5463 |
| <i>Camptosema scarlatinum</i> (Benth.) Burkart | trepadeira | 3862 |
| <i>Centrosema arenarium</i> Benth. | trepadeira | 4664 |
| <i>Chamaecrista cathartica</i> (Mart.) H.S. Irwin & Barneby | subarbusto | 4652 |
| <i>Chamaecrista ciliolata</i> (Benth.) H.S. Irwin & Barneby | subarbusto | 4842 |
| <i>Chamaecrista desvauxii</i> (Collad.) Killip | subarbusto | 3882 |
| <i>Chamaecrista ramosa</i> (Vogel) H.S. Irwin & Barneby | subarbusto | 4145 |
| <i>Chamaecrista repens</i> (Vogel) H.S. Irwin & Barneby | subarbusto | 4060 |
| <i>Chamaecrista rotundifolia</i> (Pers.) Greene | subarbusto | 4492 |
| <i>Chamaecrista trichopoda</i> (Benth.) Britton & Rose ex Britton & Killip | subarbusto | 4202 |
| <i>Crotalaria rufipila</i> Benth. | arbusto | 4866 |
| <i>Dalbergia miscolobium</i> Benth. | árvore | 5065 |
| <i>Indigofera</i> sp. | subarbusto | 5053 |
| <i>Mimosa pogocephala</i> Benth. | arbusto | 5030 |
| <i>Mimosa radula</i> Benth. | subarbusto | 4456 |
| <i>Mimosa</i> sp. | subarbusto | 4921 |
| <i>Periandra mediterranea</i> (Vell.) Taub. | subarbusto | 4051 |
| <i>Poiretia coriifolia</i> Vogel | subarbusto | 4163 |
| <i>Senna macranthera</i> (Collad.) H.S. Irwin & Barneby | árvore | 4968 |
| <i>Senna rugosa</i> (G. Don) H. S. Irwin & Barneby | arbusto | 4462 |
| <i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville | arbusto | 3915 |
| <i>Stylosanthes gracilis</i> Kunth | subarbusto | 3867 |
| <i>Stylosanthes hamata</i> (L.) Taub. | subarbusto | 4162 |
| <i>Stylosanthes</i> sp. | erva | 5448 |
| <i>Vigna firmula</i> (Benth.) Maréral, Mascherpa & Stainer | trepadeira | 4650 |
| <i>Vigna peduncularis</i> Fawc. & Rendle | trepadeira | 3291 |
| <i>Zornia latifolia</i> Sm. | trepadeira | 4186 |
| <i>Zornia diphylla</i> (L.) Pers. | trepadeira | 5470 |
| Fabaceae sp. 1 | arbusto | 4461 |
| Fabaceae sp. 2 | subarbusto | 5377 |
| Fabaceae sp. 3 | erva | 5467 |
| Gentianaceae | | |
| <i>Calolisianthus pedunculatus</i> (Cham. & Schltdl.) Gilg | subarbusto | 4010 |

| | | |
|--|------------|------|
| <i>Calolisianthus pulcherrimus</i> (Mart.) Gilg. | subarbusto | 4044 |
| <i>Curtia tenuifolia</i> (Aubl.) Knobl. | erva | 5064 |
| <i>Deianira erubescens</i> Cham. & Schlttd. | erva | 4683 |
| <i>Schultesia</i> aff. <i>gracilis</i> Mart. | erva | 4675 |
| <i>Schultesia gracilis</i> Mart. | erva | 5012 |
| Gesneriaceae | | |
| <i>Nematanthus strigillosus</i> (Mart.) H.E. Moore | subarbusto | 4597 |
| <i>Paliavana sericiflora</i> Benth. | arbusto | 3984 |
| <i>Sinningia aggregate</i> (Ker Gawl.) Wiehler | arbusto | 5211 |
| <i>Sinningia allagophylla</i> (Mart.) Wiehler | arbusto | 3881 |
| <i>Sinningia magnifica</i> (Otto & Dietr.) Wiehler | arbusto | 3300 |
| Iridaceae | | |
| <i>Neomarica rupestris</i> (Ravenna) N.S. Chukr | erva | 3352 |
| <i>Sisyrinchium vaginatum</i> Spreng. | erva | 3328 |
| <i>Trimezia juncifolia</i> (Klatt) Benth. & Hook. | erva | 4061 |
| Iridaceae sp. | erva | 4175 |
| Lamiaceae | | |
| <i>Hypenia macrantha</i> (A.St.-Hil. ex Benth.) Harley | subarbusto | 4840 |
| <i>Hyptis</i> cf. <i>homalophylla</i> Pohl ex Benth. | subarbusto | 3314 |
| <i>Hyptis lippioides</i> Pohl ex Benth. | arbusto | 4114 |
| <i>Hyptis rotundifolia</i> Benth. | subarbusto | 5511 |
| <i>Hyptis</i> sp. 1 | subarbusto | 5419 |
| <i>Hyptis</i> sp. 2 | subarbusto | 4590 |
| <i>Hyptis</i> sp. 3 | subarbusto | 4068 |
| <i>Vitex polygama</i> Cham | arbusto | 3956 |
| Lauraceae | | |
| <i>Cassytha filiformis</i> L. | parasita | 4058 |
| <i>Ocotea pulchella</i> (Nees & Mart.) Mez | árvore | 5046 |
| <i>Ocotea tristis</i> (Nees & Mart.) Mez | arbusto | 4572 |
| Lentibulariaceae | | |
| <i>Utricularia</i> sp. 1 | erva | 4482 |
| <i>Utricularia</i> sp. 2 | erva | 4674 |
| <i>Utricularia</i> sp. 3 | erva | 4013 |
| <i>Utricularia</i> sp. 4 | erva | 4014 |
| Loganiaceae | | |
| <i>Spigelia sellowiana</i> Scham. & Schlttdl. | subarbusto | 4077 |
| <i>Strychnos</i> sp. | subarbusto | 5450 |
| Loranthaceae | | |
| <i>Psittacanthus robustus</i> (Mart.) Mart. | parasita | 3886 |
| <i>Struthanthus flexicaulis</i> Mart. | parasita | 4913 |
| Lythraceae | | |

| | | |
|--|------------|------|
| <i>Cuphea ericoides</i> Cham. & Schltld. | subarbusto | 3876 |
| <i>Cuphea</i> cf. <i>acinosa</i> A.St. Hil. | subarbusto | 4197 |
| <i>Cuphea thymoides</i> Cham. & Schltld. | subarbusto | 4166 |
| <i>Cuphea</i> sp. | subarbusto | 5212 |
| <i>Diplusodon</i> sp. 1 | arbusto | 4467 |
| <i>Diplusodon</i> sp. 2 | arbusto | 4048 |
| <i>Diplusodon</i> sp. 3 | arbusto | 4577 |
| <i>Lafoensia pacari</i> A.St. Hil. | árvore | 4645 |
| Malpighiaceae | | |
| <i>Banisteriopsis campestris</i> (A.Juss.) Little | trepadeira | 5453 |
| <i>Byrsonima macrophylla</i> (Pers.) W.R.Anderson | arbusto | 4886 |
| <i>Banisteriopsis malifolia</i> var. <i>malifolia</i> (Nees & Mart.) B.Gates | arbusto | 4509 |
| <i>Byrsonima variabilis</i> A. Juss. | arbusto | 3317 |
| <i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC. | arbusto | 4505 |
| <i>Heteropterys pteropetala</i> A. Juss. | arbusto | 3866 |
| <i>Heteropterys umbellata</i> A.Juss. | arbusto | 4164 |
| <i>Peixotoa tomentosa</i> A.Juss. | trepadeira | 4611 |
| <i>Pterandra pyroidea</i> A.Juss. | arbusto | 4460 |
| <i>Tetrapteryx microphylla</i> (A.Juss.) Nied. | subarbusto | 4628 |
| Malvaceae | | |
| <i>Pavonia</i> sp. | subarbusto | 4847 |
| <i>Pseudobombax</i> sp. 1 | arbusto | 4639 |
| <i>Pseudobombax</i> sp. 2 | arbusto | 5444 |
| <i>Sida</i> cf. <i>linifolia</i> Cav. | erva | 4658 |
| <i>Walteria indica</i> L. | erva | 5227 |
| Malvaceae sp. 1 | erva | 5471 |
| Malvaceae sp. 2 | subarbusto | 4484 |
| Malvaceae sp. 3 | subarbusto | 4468 |
| Malvaceae sp. 4 | subarbusto | 4608 |
| Melastomataceae | | |
| <i>Cambessedesia corymbosa</i> Mart. & Schr. ex DC. | subarbusto | 4078 |
| <i>Cambessedesia espora</i> (A.St.-Hil. ex Bonpl.) DC. | erva | 4856 |
| <i>Cambessedesia hilariana</i> (Kunth) DC. | subarbusto | 4558 |
| <i>Comolia sertularia</i> (DC.) Triana | arbusto | 4839 |
| <i>Comolia sessilis</i> (Spreng.) Triana | subarbusto | 4122 |
| <i>Fritzchia erecta</i> Cham. & Schltld. | erva | 3282 |
| <i>Lavoisiera</i> sp. | arbusto | 4887 |
| <i>Leandra aurea</i> (Cham.) Cogn. | arbusto | 4080 |
| <i>Leandra oligochaeta</i> (Cham.) Cogn. | arbusto | 3947 |
| <i>Leandra</i> sp. 1 | arbusto | 4082 |

| | | |
|--|------------|--------|
| <i>Leandra</i> sp. 2 | arbusto | 5229 |
| <i>Marcetia taxifolia</i> DC. | subarbusto | 5032 |
| <i>Miconia albicans</i> (Sw.) Steud. | arbusto | 4858 |
| <i>Miconia corallina</i> Sprin | arbusto | 3894 |
| <i>Miconia ferruginata</i> DC. | arbusto | 4807 |
| <i>Miconia ligustroides</i> (DC.) Naudin | arbusto | 3851 |
| <i>Miconia pennipilis</i> Cogn. | arbusto | 3357 |
| <i>Miconia pepericarpa</i> DC. | arbusto | 4565 |
| <i>Miconia rubiginosa</i> (Bonpl.) DC. | arbusto | 4110 |
| <i>Microlicia avicularis</i> Mart. ex Naudin | subarbusto | 4816 |
| <i>Microlicia crenulata</i> (DC.) Mart. | arbusto | 3954 |
| <i>Microlicia fulva</i> (Spreng.) Cham. | arbusto | 4576 |
| <i>Microlicia macrophylla</i> Naudin | subarbusto | 4890 |
| <i>Microlicia</i> sp.1 | subarbusto | 4905 |
| <i>Microlicia</i> sp.2 | subarbusto | 5045 |
| <i>Microlicia</i> sp.3 | subarbusto | 5506 |
| <i>Ossaea coriacea</i> (Naudin) Triana | arbusto | 4074 |
| <i>Siphanthera arenaria</i> (DC.) Cogn. | erva | 4555 |
| <i>Tibouchina cardinalis</i> Cogn. | arbusto | 4967 |
| <i>Tibouchina frigidula</i> (DC.) Cogn. | arbusto | 3986 |
| <i>Tibouchina heteromalla</i> (D.Don) Cogn. | arbusto | 3847 |
| <i>Tibouchina semidecandra</i> (DC.) Cogn. | árvore | 3341 |
| <i>Tibouchina villosissima</i> (Triana) Cogn. | arbusto | 4554 |
| <i>Trembleya laniflora</i> (D.Don) Cogn. | arbusto | 5025 |
| <i>Trembleya parviflora</i> Cogn. | arbusto | 4873 |
| Meliaceae | | |
| <i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart. | arbusto | 3385 |
| Menispermaceae | | |
| <i>Cissampelos ovalifolia</i> DC. | subarbusto | 4194 |
| Monimiaceae | | |
| <i>Mollinedia</i> cf. <i>triflora</i> (Spreng.) Tul. | árvore | 3374 |
| Moraceae | | |
| <i>Ficus</i> sp. | | árvore |
| Myrtaceae | | |
| <i>Accara elegans</i> (DC.) Landrum | arbusto | 5396 |
| <i>Calypttranthes pulchella</i> DC. | árvore | 3484 |
| <i>Campomanesia adamantium</i> (Cambess.) O.Berg | arbusto | 5218 |
| <i>Eugenia bimarginata</i> O. Berg. | arbusto | 4633 |
| <i>Eugenia puniceifolia</i> (Kunth) DC. | árvore | 4646 |
| <i>Myrceugenia alpigena</i> (DC.) Landrum | arbusto | 3349 |
| <i>Myrcia amazonica</i> DC. | árvore | 3952 |

| | | |
|--|------------|------|
| <i>Myrcia eriocalyx</i> DC. | árvore | 4099 |
| <i>Myrcia guianensis</i> (Aubl.) DC. | árvore | 5421 |
| <i>Myrcia hartwegiana</i> (O. Berg) Kiaersk. | árvore | 5092 |
| <i>Myrcia montana</i> Cambess. | árvore | 3326 |
| <i>Myrcia mutabilis</i> (O.Berg.) N.Silveira | árvore | 5393 |
| <i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC. | árvore | 3987 |
| <i>Myrcia subverticillaris</i> (O.Berg) Kiaersk. | árvore | 4904 |
| <i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC. | árvore | 5217 |
| <i>Myrciaria glanduliflora</i> (Kiaersk.) Mattos & D.Legrand | arbusto | 5247 |
| <i>Psidium</i> cf. <i>myrtoides</i> O. Berg | árvore | 5060 |
| <i>Psidium</i> cf. <i>oligospermum</i> DC. | árvore | 5446 |
| Nyctaginaceae | | |
| <i>Guapira</i> cf. <i>hirsuta</i> (Choisy) Lundell | árvore | 4786 |
| <i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz | árvore | 5522 |
| <i>Guapira</i> cf. <i>tomentosa</i> (Casar.) Lundell | árvore | 3384 |
| Ochnaceae | | |
| <i>Luxemburgia octandra</i> A.St.-Hil. | subarbusto | 4143 |
| <i>Ouratea floribunda</i> Engl. | arbusto | 4838 |
| <i>Ouratea</i> sp. | arbusto | 4909 |
| <i>Sauvagesia</i> cf. <i>erecta</i> L. | subarbusto | 5559 |
| <i>Sauvagesia</i> sp. | subarbusto | 4123 |
| Orchidaceae | | |
| <i>Acianthera limae</i> (Porto & Brade) Prindgeon & M.W.Chase | erva | 4760 |
| <i>Acianthera prolifera</i> (Herb. ex Lindl.) Prindgeon & M.W. Chase | erva | 3333 |
| <i>Acianthera teres</i> (Lindl.) Borba | erva | 4189 |
| <i>Bifrenaria aureofulva</i> Lindl. | erva | 3320 |
| <i>Bifrenaria</i> sp. | erva | 4067 |
| <i>Brassavola tuberculata</i> Hook. | erva | 5105 |
| <i>Bulbophyllum</i> cf. <i>involutum</i> Borba, Semir & F. Barros | erva | 5003 |
| <i>Bulbophyllum weddelii</i> (Lindl.) Rchb. f. | erva | 4378 |
| <i>Cattleya caulescens</i> (Lindl.) Van den Berg | erva | 5048 |
| <i>Cattleya crispata</i> (Thunb.) Van den Berg | erva | 4846 |
| <i>Cattleya fournieri</i> (Cogn.) Van den Berg | erva | 4854 |
| <i>Cattleya kettieana</i> (Pabst) Van den Berg | erva | 5005 |
| <i>Cattleya</i> sp. | erva | 4439 |
| <i>Christensonella subulata</i> (Lindl.) Szlach. et al. | erva | 3305 |
| <i>Cleistes gracilis</i> (Barb. Rodr.) Schltr. | erva | 2776 |
| <i>Cyrtopodium</i> sp. | erva | 5252 |
| <i>Dichaea cogniauxiana</i> Schltr. | erva | 3717 |

| | | |
|---|------------|------|
| <i>Epidendrum campestre</i> Lindl. | erva | 3635 |
| <i>Epidendrum chlorinum</i> Barb. Rodr. | erva | 3321 |
| <i>Epidendrum dendrobioides</i> Thunb. | erva | 5557 |
| <i>Epidendrum saxatile</i> Lindl. | erva | 4041 |
| <i>Epidendrum secundum</i> Jacq. | erva | 5380 |
| <i>Galeandra montana</i> Barb. Rodr. | erva | 4644 |
| <i>Gomesa blanchetii</i> (Rchb.f.) M.W.Chase & N.H.Williams | erva | 4451 |
| <i>Gomesa warmingii</i> (Rchb.f.) M.W.Chase & N.H.Williams | erva | 3297 |
| <i>Gomesa</i> sp. | erva | 5412 |
| <i>Habenaria</i> aff. <i>nuda</i> Lindl. | erva | 4561 |
| <i>Habenaria caldensis</i> Kraenzl. | erva | 4000 |
| <i>Habenaria guilleminii</i> Rchb.f. | erva | 3897 |
| <i>Habenaria humilis</i> Cogn. | erva | 4022 |
| <i>Habenaria rolfeana</i> Schltr. | erva | 3997 |
| <i>Habenaria rupicola</i> Barb. Rodr. | erva | 4135 |
| <i>Habenaria</i> sp. | erva | 3278 |
| <i>Liparis vexillifera</i> (La Llave & Lex.) Cogn. | erva | 5384 |
| <i>Pelexia oestrifera</i> (Rchb.f. & Warm.) Schltr. | erva | 3345 |
| <i>Pelexia parva</i> (Cogn.) Schltr. | erva | 5000 |
| <i>Pelexia</i> sp. | erva | 4020 |
| <i>Prescottia montana</i> Barb.Rodr. | erva | 3296 |
| <i>Prescottia phleoides</i> Lindl. | erva | 4622 |
| <i>Prescottia plantaginifolia</i> Lindl. ex Hook. | erva | 4796 |
| <i>Prosthechea allemanoides</i> (Hoehne) W.E. Higgins | erva | 3340 |
| <i>Prosthechea pachysepala</i> (Klotzsch) Chiron & V. P. Castro | erva | 3980 |
| <i>Pseudolaelia geraensis</i> Pabst | erva | 5228 |
| <i>Veyretia rupicola</i> (Garay) F. Barros | erva | 4861 |
| <i>Zygopetalum triste</i> Barb. Rodr. | erva | 3286 |
| <i>Zygopetalum</i> cf. <i>mackayi</i> Hook. | erva | 3437 |
| Orchidaceae sp. 1 | erva | 4006 |
| Orobanchaceae | | |
| <i>Buchnera lavandulacea</i> Cham. & Schltl. | subarbusto | 4680 |
| <i>Physocalyx major</i> Mart. | subarbusto | 2775 |
| Oxalidaceae | | |
| <i>Oxalis</i> sp. 1 | subarbusto | 5415 |
| <i>Oxalis</i> sp. 2 | subarbusto | 4591 |
| Phyllanthaceae | | |
| <i>Phyllanthus fastigiatus</i> Mart. ex Mull. Arg. | erva | 3332 |
| <i>Phyllanthus</i> cf. <i>orbiculatus</i> Rich. | erva | 5237 |
| <i>Phyllanthus</i> sp. 1 | erva | 3880 |
| <i>Phyllanthus</i> sp. 2 | erva | 4023 |

| | | |
|--|------------|------|
| <i>Phyllanthus</i> sp. 3 | erva | 4035 |
| <i>Phyllanthus</i> sp. 4 | erva | 5505 |
| Phytolaccaceae | | |
| <i>Microtea paniculata</i> Moq. | erva | 5403 |
| Piperaceae | | |
| <i>Peperomia blanda</i> (Jacq.) Kunth | erva | 3310 |
| <i>Peperomia decora</i> Dahlst. | erva | 5536 |
| <i>Peperomia subrubripica</i> C.DC. | erva | 4034 |
| <i>Peperomia</i> sp. | erva | 4787 |
| Plantaginaceae | | |
| <i>Scoparia dulcis</i> L. | subarbusto | 5597 |
| Poaceae | | |
| <i>Andropogon bicornis</i> L. | erva | 833 |
| <i>Andropogon brasiliensis</i> A.Zanin & Longhi-Wagner | erva | 3330 |
| <i>Andropogon</i> cf. <i>carinatus</i> Nees | erva | 4927 |
| <i>Andropogon</i> cf. <i>macrothrix</i> Trin. | erva | 4926 |
| <i>Andropogon ingratus</i> Hack. | erva | 4626 |
| <i>Andropogon leucostachyus</i> Kunth | erva | 5476 |
| <i>Andropogon virgatus</i> Desv. ex Ham. | erva | 5210 |
| <i>Andropogon</i> sp. | erva | 856 |
| <i>Anthaenantia lanata</i> (Kunth) Benth. | erva | 4515 |
| <i>Apochloa euprepes</i> (Renvoize) Zuloaga & Morrone | erva | 844 |
| <i>Apochloa molinioides</i> Trin. | erva | 3315 |
| <i>Aristida capillacea</i> Lam. | erva | 611 |
| <i>Aristida gibbosa</i> Kunth | erva | 621 |
| <i>Aristida recurvata</i> Kunth | erva | 865 |
| <i>Aristida riparia</i> Trin. | erva | 623 |
| <i>Aristida setifolia</i> Kunth | erva | 870 |
| <i>Aristida torta</i> Kunth | erva | 4934 |
| <i>Aristida</i> sp. | erva | 875 |
| <i>Aulonemia effusa</i> (Hack.) McClure | erva | 4806 |
| <i>Axonopus brasiliensis</i> (Spreng.) Kuhlmann | erva | 3945 |
| <i>Axonopus capillaris</i> (Lam.) Chase | erva | 4583 |
| <i>Axonopus chrysoblepharis</i> (Lag.) Chase | erva | 3290 |
| <i>Axonopus fastigiatus</i> (Nees ex Trin.) Kuhlmann | erva | 596 |
| <i>Axonopus pressus</i> (Nees) Parodi | erva | 826 |
| <i>Axonopus siccus</i> (Nees) Kuhlmann | erva | 4518 |
| <i>Chusquea</i> cf. <i>attenuata</i> (Doll) L.G. Clark | erva | 3348 |
| <i>Chusquea pinifolia</i> (Nees) Nees | erva | 3371 |
| <i>Danthonia secundiflora</i> J.Presl & C.Presl | erva | 3334 |
| <i>Dichanthelium</i> cf. <i>sciurotoides</i> (Zuloaga & Morrone) | erva | 4522 |

Davidse

| | | |
|--|------|------|
| <i>Dichanthelium</i> cf. <i>stigmatosum</i> (Trin.) Zuloaga | erva | 3335 |
| <i>Dichanthelium sabulorum</i> (Lam.) Gould & C.A. Clark | erva | 4117 |
| <i>Dichanthelium</i> sp. | erva | 842 |
| <i>Echinolaena inflexa</i> (Poir.) Chase | erva | 610 |
| <i>Eragrostis mokensis</i> Pilg. | erva | 4528 |
| <i>Eragrostis rufescens</i> Schrad. ex Schult. | erva | 4678 |
| <i>Ichnanthus bambusiflorus</i> (Trin.) Döll | erva | 618 |
| <i>Ichnanthus inconstans</i> (Trin. ex Nees) Döll | erva | 4092 |
| <i>Ichnanthus longiglumis</i> Mez | erva | 4119 |
| <i>Melinis minutiflora</i> P. Beauv. | erva | 873 |
| <i>Melinis repens</i> (Wild.) Zizka | erva | 5239 |
| <i>Mesosetum loliiforme</i> (Hochst.) Chase | erva | 5497 |
| <i>Microchloa indica</i> (L. f.) P. Beauv. | erva | 4176 |
| <i>Ocellochloa latissima</i> (Mikan ex Trin.) Zuloaga & Morrone | erva | 3309 |
| <i>Panicum</i> aff. <i>Cyanescens</i> Nees ex Trin. | erva | 3316 |
| <i>Panicum</i> aff. <i>sabulorum</i> Lam. | erva | 822 |
| <i>Panicum cyanescens</i> Nees | erva | 3981 |
| <i>Panicum pseudisachne</i> Mez | erva | 3379 |
| <i>Panicum schwackeanum</i> Mez | erva | 5493 |
| <i>Panicum sellowii</i> Nees | erva | 4300 |
| <i>Panicum subulatum</i> Spreng. | erva | 4935 |
| <i>Panicum wettsteinii</i> Hack. | erva | 616 |
| <i>Panicum</i> sp. | erva | 5439 |
| <i>Parodiolyra micrantha</i> (Kunth) Davidse & Zuloaga | erva | 5246 |
| <i>Paspalum</i> aff. <i>scalare</i> Trin. | erva | 5029 |
| <i>Paspalum</i> aff. <i>trachycoeon</i> Steud. | erva | 4687 |
| <i>Paspalum carinatum</i> Humb. & Bonpl. ex Flügge | erva | 5408 |
| <i>Paspalum</i> cf. <i>stellatum</i> Humb. & Bonpl. ex Flügge | erva | 852 |
| <i>Paspalum cinerascens</i> (Döll) A.G.Burm. & C.N.Bastos | erva | 4973 |
| <i>Paspalum eucomum</i> Nees ex Trin. | erva | 613 |
| <i>Paspalum multicaule</i> Poir. | erva | 5475 |
| <i>Paspalum parviflorum</i> Rhode ex Flügge | erva | 4690 |
| <i>Paspalum polyphyllum</i> Nees | erva | 4520 |
| <i>Paspalum scalare</i> Trin. | erva | 4521 |
| <i>Paspalum</i> sp. | erva | 622 |
| <i>Raddiella esenbeckii</i> (Steud.) C.E. Calderón & Soderstr. | erva | 4923 |
| <i>Schizachyrium</i> aff. <i>microstachyum</i> (Desv. ex Ham.) Roseng., B.R. Arrill. & Izag. | erva | 619 |
| <i>Schizachyrium microstachyum</i> (Desv. ex Ham.) Roseng., B.R. Arrill. & Izag. | erva | 845 |

| | | |
|---|------------|------|
| <i>Schizachyrium sanguineum</i> (Retz.) Alston | erva | 861 |
| <i>Schizachyrium tenerum</i> Nees | erva | 5498 |
| <i>Setaria parviflora</i> (Poir.) Kerguelen | erva | 4001 |
| <i>Setaria</i> sp. | erva | 5068 |
| <i>Sporobolus acuminatus</i> (Trin.) Hack. | erva | 4100 |
| <i>Sporobolus aeneus</i> (Trin.) Kunth | erva | 5496 |
| <i>Sporobolus ciliatus</i> J. Presl | erva | 4632 |
| <i>Sporobolus metallicola</i> Longhi-Wagner & Boechat | erva | 612 |
| <i>Steinchisma decipiens</i> (Nees & Trin.) W.V. Br. | erva | 5020 |
| <i>Trachypogon spicatus</i> (L. f.) Kuntze | erva | 614 |
| <i>Tristachya leiostachya</i> Nees | erva | 5410 |
| Poaceae sp.1 | erva | 5422 |
| Poaceae sp.2 | erva | 5223 |
| Poaceae sp.3 | erva | 5455 |
| Poaceae sp.4 | erva | 5461 |
| Poaceae sp.5 | erva | 5040 |
| Poaceae sp.6 | erva | 5388 |
| Poaceae sp.7 | erva | 5407 |
| Poaceae sp.8 | erva | 5411 |
| Polygalaceae | | |
| <i>Bredemeyera floribunda</i> Willd. | arbusto | 4454 |
| <i>Monnina stenophylla</i> A.St.-Hil. & Moq. | subarbusto | 4025 |
| <i>Polygala bryoides</i> A.St.-Hil. & Moq. | erva | 4999 |
| <i>Polygala cuspidata</i> DC. | erva | 3873 |
| <i>Polygala fendleri</i> Chodat | subarbusto | 3898 |
| <i>Polygala glochidiata</i> Kunth | erva | 4483 |
| <i>Polygala hebeclada</i> DC. | erva | 5080 |
| <i>Polygala longicaulis</i> Kunth | erva | 5382 |
| <i>Polygala monninoidea</i> Kunth | erva | 3878 |
| <i>Polygala paniculata</i> L. | erva | 3361 |
| <i>Polygala</i> sp. | subarbusto | 4152 |
| Portulacaceae | | |
| <i>Portulaca mucronata</i> Link. | erva | 3924 |
| Primulaceae | | |
| <i>Myrsine monticola</i> Mart. | arbusto | 3849 |
| <i>Myrsine umbellata</i> Mart. | árvore | 4785 |
| <i>Myrsine villosissima</i> A.DC. | arbusto | 4774 |
| Proteaceae | | |
| <i>Roupala montana</i> Aubl | arbusto | 3281 |
| Rubiaceae | | |
| <i>Borreria capitata</i> (Ruiz. & Pav.) DC. | erva | 4029 |

| | | |
|--|------------|------|
| <i>Borreria latifolia</i> (Aublet) K. Schum. | erva | 4473 |
| <i>Borreria verticillata</i> (L.) G. Meyer | erva | 4021 |
| <i>Borreria</i> sp. | erva | 5013 |
| <i>Coccocypselum aureum</i> Cham. & Schldtl | erva | 4026 |
| <i>Cordia concolor</i> (Cham.) Kuntze | arbusto | 3367 |
| <i>Cordia elliptica</i> (Cham.) Kuntze | arbusto | 3949 |
| <i>Declieuxia deltoidea</i> Müll.Arg. | subarbusto | 3944 |
| <i>Declieuxia</i> sp. | subarbusto | 3883 |
| <i>Diodella apiculata</i> (R. & S.) K. Schum. | subarbusto | 4453 |
| <i>Diodella teres</i> (Walter) Small | subarbusto | 3918 |
| <i>Emmeorrhiza umbellata</i> Pohl ex Endl. | trepadeira | 4779 |
| <i>Faramea nigrescens</i> Mart. | arbusto | 4508 |
| <i>Galianthe lillifolia</i> (Standl.) E.L. Cabral | subarbusto | 4495 |
| <i>Hillia parasitica</i> Jacq. | arbusto | 3372 |
| <i>Mitracarpus</i> sp. 1 | subarbusto | 5078 |
| <i>Mitracarpus</i> sp. 2 | erva | 5248 |
| <i>Palicourea rigida</i> Kunth | arbusto | 3892 |
| <i>Psychotria capitata</i> Ruiz & Pav. | arbusto | 3890 |
| <i>Psychotria vellosiana</i> Benth. | arbusto | 3325 |
| <i>Psyllocarpus</i> cf. <i>laricoides</i> Martius in Martius & Zucc. | subarbusto | 4018 |
| <i>Rudgea viburnoides</i> (Cham.) Benth. | arbusto | 4459 |
| <i>Sabicea</i> cf. <i>brasiliensis</i> Wernham | arbusto | 5375 |
| <i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schldtl.) K.Schum | arbusto | 4499 |
| Rubiaceae sp. 1 | erva | 5449 |
| Rubiaceae sp. 2 | erva | 5399 |
| Rubiaceae sp. 3 | erva | 5509 |
| Rutaceae | | |
| <i>Zanthoxylum</i> cf. <i>rhoifolium</i> Lam. | árvore | 3850 |
| Sapindaceae | | |
| <i>Serjania</i> sp. | trepadeira | 3888 |
| Sapotaceae | | |
| <i>Chrysophyllum marginatum</i> (Hook & Arn.) Radlk. | árvore | 4474 |
| Siparunaceae | | |
| <i>Siparuna</i> cf. <i>guianensis</i> Aubl. | arbusto | 5443 |
| Smilacaceae | | |
| <i>Smilax syringoides</i> Griseb. | trepadeira | 3885 |
| <i>Smilax oblongifolia</i> Pohl ex Griseb. | subarbusto | 3951 |
| <i>Smilax</i> sp. 1 | subarbusto | 4764 |
| <i>Smilax</i> sp. 2 | subarbusto | 4159 |
| <i>Smilax</i> sp. 3 | subarbusto | 4883 |
| Solanaceae | | |

| | | |
|---|------------|------|
| <i>Brunfelsia brasiliensis</i> (Spreng.) L.B. Sm. & Downs | arbusto | 3907 |
| <i>Dyssochroma viridiflora</i> Miers | arbusto | 3492 |
| <i>Schwenckia americana</i> Rooyen ex L. | erva | 4485 |
| <i>Solanum didymum</i> Dunal | arbusto | 5433 |
| <i>Solanum refractifolium</i> Sendtn. | subarbusto | 3380 |
| <i>Solanum sisymbriifolium</i> Lam. | subarbusto | 4592 |
| <i>Solanum stenandrum</i> Dunal | arbusto | 4497 |
| <i>Solanum subumbellatum</i> Vell. | arbusto | 4093 |
| Turneraceae | | |
| <i>Piriqueta</i> sp. | erva | 4654 |
| <i>Turnera</i> sp. | erva | 4996 |
| Valerianaceae | | |
| <i>Valeriana scandens</i> L. | trepadeira | 4770 |
| Velloziaceae | | |
| <i>Barbacenia aurea</i> L.B.Sm. & Ayensu | erva | 4428 |
| <i>Barbacenia globata</i> Goethart & Henrard | erva | 4096 |
| <i>Barbacenia sellovii</i> Goethart & Henrard | erva | 4820 |
| <i>Barbacenia</i> sp. 1 | erva | 5501 |
| <i>Barbacenia</i> sp. 2 | erva | 5502 |
| <i>Vellozia albiflora</i> Pohl | erva | 3895 |
| <i>Vellozia compacta</i> Mart. ex Schult. & Schult. f. | erva | 3863 |
| <i>Vellozia graminea</i> Pohl | erva | 3311 |
| <i>Vellozia variabilis</i> Mart. ex Schult. & Schult.f. | erva | 3864 |
| <i>Vellozia</i> sp. 1 | erva | 5423 |
| <i>Vellozia</i> sp. 2 | erva | 5507 |
| Verbenaceae | | |
| <i>Lantana camara</i> L. | arbusto | 3860 |
| <i>Lantana fucata</i> Lindl. | arbusto | 3891 |
| <i>Lippia corymbosa</i> Cham. | subarbusto | 5038 |
| <i>Lippia florida</i> Cham. | subarbusto | 4142 |
| <i>Lippia hermannioides</i> Cham. | arbusto | 3868 |
| <i>Lippia lupulina</i> Cham. | subarbusto | 5061 |
| <i>Lippia martiana</i> Schauer | subarbusto | 4187 |
| <i>Lippia microphylla</i> Cham. | arbusto | 3921 |
| <i>Lippia rotundifolia</i> Cham. | subarbusto | 4815 |
| <i>Lippia sericea</i> Cham. | arbusto | 4693 |
| <i>Stachytarpheta commutata</i> Schauer | arbusto | 3354 |
| <i>Stachytarpheta glabra</i> Cham. | arbusto | 4086 |
| <i>Stachytarpheta reticulata</i> Mart. Ex Schauer | arbusto | 4832 |
| Vitaceae | | |
| <i>Cissus erosa</i> Rich. | trepadeira | 3922 |

| | | |
|---|------------|------|
| <i>Cissus cf. subrhomboidea</i> (Baker) Planch. | trepadeira | 5215 |
| Vochysiaceae | | |
| <i>Qualea cordata</i> Spreng. | árvore | 3865 |
| <i>Qualea parviflora</i> Mart. | árvore | 4465 |
| <i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl | arbusto | 3977 |
| Xyridaceae | | |
| <i>Xyris celiae</i> L.B.Sm. & Downs | erva | 4617 |
| <i>Xyris obtusiuscula</i> Alb. Nilsson | erva | 4004 |
| <i>Xyris plantaginea</i> Mart. | erva | 5534 |
| <i>Xyris pterygoblephara</i> Steud. | erva | 4541 |
| <i>Xyris seubertii</i> L.A.Nilsson | erva | 5490 |
| <i>Xyris stenophylla</i> Alb. Nilsson | erva | 4130 |
| <i>Xyris tortula</i> Mart. | erva | 3900 |
| <i>Xyris</i> sp. 1 | erva | 5532 |
| <i>Xyris</i> sp. 2 | erva | 5389 |

Tabela 3 – Domínios fitogeográficos das espécies inventariadas nos afloramentos de granito, gnaisses e quartzitos, Quadrilátero Ferrífero, MG. CE: Cerrado; MA: Mata Atlântica; AM: Amazônia; CA: Caatinga; PAM: Pampa.

| Domínio Fitogeográfico | n° spp. | % |
|-------------------------------|----------------|------------|
| CE | 131 | 24 |
| CE; MA | 110 | 20 |
| AM; CA; CE; MA | 64 | 12 |
| CA; CE; MA | 60 | 11 |
| MA | 34 | 6 |
| CA; CE | 27 | 5 |
| AM; CE; MA | 15 | 3 |
| AM; CA; CE; MA; PAM | 13 | 2 |
| AM; CA; CE | 12 | 2 |
| CE; MA; PAM | 11 | 2 |
| outros | 45 | 8 |
| todos | 30 | 5 |
| Total | 552 | 100 |

Discussão

O presente estudo gerou informações florísticas importantes, notadamente relacionadas a vegetação sobre os granitóides, contribuindo para o conhecimento de áreas ainda pouco investigadas como as serras da Água Limpa e da Moeda. A elevada riqueza associada aos afloramentos, que somam uma área de apenas 85 ha, indica a importância desses sistemas para a manutenção da diversidade da região. Comparações com outros estudos florísticos desenvolvidos na região foram evitadas, uma vez que os mesmos incluíram outros tipos de ambientes, como campos limpos, campos sujos e ambientes brejosos. Assim, as comparações foram limitadas aos estudos que focaram os afloramentos de cangas.

Quatorze dos 20 gêneros com maior número de espécies do presente estudo também foram encontrados entre os mais ricos nas cangas do QF (Carmo & Jacobi, 2013). As exceções foram *Anemia*, *Bulbostylis*, *Andropogon*, *Aristida*, *Chromolaena* e *Lessingianthus*. Por outro lado, os gêneros *Solanum*, *Tibouchina*, *Ditassa*, *Ocotea*, *Vellozia*, *Mimosa* e *Leandra*, que estavam entre os 20 gêneros com maior número de espécies em cangas, estão ausentes entre os gêneros mais ricos nos afloramentos granito-gnaissicos e quartzíticos. Essa situação pode estar relacionada mais com os fatores geodáficos (escala local) do que com fatores climáticos ou fitogeográficos (escala regional), uma vez que alguns afloramentos de cangas estão distantes a menos de 2 km dos afloramentos granito-gnaissicos e quartzíticos. Ao mesmo tempo, a baixa frequência de capões também podem ter contribuído para essa discrepância, principalmente quando são analisadas espécies arbóreas e arbustivas. Essas espécies são bem frequentes nos capões em cangas, onde os gêneros mais representativos foram *Solanum*, *Tibouchina*, *Ocotea* e *Leandra* (Viana & Lombardi, 2007; Carmo & Jacobi, 2012).

Entre as espécies raras (*sensu* Giulietti *et al.*, 2009) encontradas no presente estudo, apenas quatro foram citadas na lista oficial das espécies ameaçadas de extinção da Flora de Minas Gerais, de 1997: *Chaptalia martii* (em perigo), *Cryptanthus glazioui* (em perigo), *Lychnophora pinaster* (vulnerável) e *Vriesea clauseniana* (vulnerável). Nenhuma delas foi considerada ameaçada de extinção de acordo com a lista da Flora brasileira, de 2008. A ausência das espécies endêmicas do Quadrilátero na lista brasileira da flora ameaçada de extinção e a ausência parcial na lista estadual comprometem a conservação das mesmas e dos seus habitats. As 'listas vermelhas' são mundialmente reconhecidas como uma ferramenta de gestão ambiental e podem, por exemplo, subsidiar políticas públicas e tomadas de decisão que tratam da utilização racional e da conservação dos recursos naturais (Ginsburg, 2001; Callmander *et al.*, 2005).

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e a US Fish and Wildlife Service pelo suporte financeiro. A CEMIG S.A. pela autorização de desenvolvimento da pesquisa na Estação Ambiental PETI e ao Instituto Estadual de Florestas (IEF-MG) pelas licenças concedidas.

Literatura Citada

- 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: 1047-1050.
- Carvalho-Filho, A., Curi, N. & Shinzato, E. 2010. Relações solo-paisagem no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(8): 903-906.
- Carmo, F.F. & Jacobi, C.M. 2012. As Cangas do Quadrilátero Ferrífero. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Orgs.). *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. pp. 1-13.
- Carmo, F.F. & Jacobi, C.M. 2013. A vegetação de canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: caracterização e contexto fitogeográfico. *Rodriguésia*, 64: 527-541.
- 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.
- 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.
- Echternacht, L., Trovó, M. & Sano, P.K. 2012. Eriocaulaceae. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Orgs.). *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. Pp. 114-119.
- Fiaschi, P. & Pirani, J.R. 2009. Review of plant biogeographic studies in Brazil. *Journal of Systematics and Evolution*, 47: 477-496.
- Gastauer, M., Messias, M.C.T. & Meira-Neto, J.A.A. 2012. Floristic Composition, Species Richness and Diversity of *Campo Rupestre* Vegetation from the Itacolomi State Park, Minas Gerais, Brazil. *Environment and Natural Resources Research*, 2: 115-128.
- Ginsburg, J. 2001. The Application of IUCN Red List Criteria at Regional Levels. *Conservation Biology*, 15: 1206-1212.

- Giulietti, A.M., Pirani J.R., Harley, R.M. 1997. Espinhaço Range Region, Eastern Brazil. In: S.D. Davis, V.H. Heywood, O. Herrera-MacBryde, J. Villa-Lobos & A.C. Hamilton (eds.) *Centres of plant diversity. A guide and strategies for conservations, V. 3. The Americas*. pp. 397-404. WWF/IUCN, Cambridge.
- Giulietti, A.M., Rapini, A., Andrade, M.J.G., Queiroz, L.P. & Silva, J.M.C. (Org.). 2009. *Plantas Raras do Brasil*. Conservation International, Belo Horizonte. 496 p.
- Gonçalves, E. G. 2012. Araceae. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Orgs.). *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. pp. 78-79.
- Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Orgs.). *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. 222 p.
- 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.
- Lista de Espécies da Flora do Brasil. 2014. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>
- Mello-Silva, R. 2012. Velloziaceae. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Orgs.). *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. pp. 200-201.
- Messias, M.C.T.B., Leite, M.G.P., Meira-Neto, J.A.A. & Kozovits, A.R. 2011. Life-form spectra of quartzite and itabirite rocky outcrop sites, Minas Gerais, Brazil. *Biota Neotrop.*, 11: 255-268.
- Messias, M.C.T.B., Leite, M.G.P., Meira-Neto, J.A.A. & Kozovits, A.R. 2012. Fitossociologia de campos rupestres quartzíticos e ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Acta Botanica Brasilica*, 26: 230-242.
- Messias, M.C.T.B., Leite, M.G.P., Meira-Neto, J.A.A. & Kozovits, A.R. 2013. Soil-vegetation relationship in quartzite and ferruginous Brazilian rocky outcrops. *Folia Geobotanica*, 48:509-521.
- 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.
- Mota, R.C., Batista, J.A.N. & Borba, E.L. 2012. Orchidaceae. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Orgs.). *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. pp. 158-162.

- 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: 775-786.
- Pastore, J.F.B. 2012. Polygalaceae. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Orgs.). *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. 179-180 pp.
- Peron, M. V. 1989. Listagem preliminar da flora fanerogâmica dos campos rupestres do Parque Estadual do Itacolomi – Ouro Preto/Mariana, MG. *Rodriguésia*, 67: 63-69.
- Porembski, S. & Barthlott, W. 2000. *Inselbergs. Biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions*. Springer-Verlag, Berlim, 524 pp.
- Rapini, A. 2012. Apocynaceae. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Orgs.). *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. 72-75 pp.
- Romero, R, Oliveira, A.L.F., Goldenberg, R. Caddah, M.K. & Meyer, F.S. 2012. Melastomataceae. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Orgs.). *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. 145-150 pp.
- Rezende, A.R., Romero, R. & Goldenberg, R. 2014. Sinopse de *Miconia* seção *Miconia* DC. (Melastomataceae) no estado de Minas Gerais, Brasil. *Biosci. J.*, 30: 273-287.
- Safford, H.D. & Martinelli, G. 1999. Southeast Brazil. In: Porembski, S. & Barthlott, W. (Eds.). 2000. *Inselbergs. Biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions*. Springer-Verlag, Berlim, 339-389 p.
- Salimena, F.R.G. 2012. Verbenaceae. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Orgs.). *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. pp. 204-206.
- Simão-Bianchini, R. 2012. Convolvulaceae. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Orgs.). *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. pp. 103-105.
- Sobral, M.E.G. 2012. Myrtaceae. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Orgs.). *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. pp. 154-156.
- Souza, M.L.R. 2002. O gênero *Ossaea* DC. (Melastomataceae) no Brasil: circunscrição e notas taxonômicas. *Insula*, 31: 01-28.
- Teles, A. & Hattori, E.K.O. 2012. Asteraceae. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Orgs.). *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. pp. 82-90.

- Versieux, L.M. 2012. Bromeliaceae. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Orgs.). *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. pp. 93-97.
- 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.
- Viana, P.L. 2012. Poaceae. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (orgs.) Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Orgs.). *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. pp. 172-178.

CAPÍTULO 3

EFFECTS OF FINE-SCALE SURFACE HETEROGENEITY ON ROCK OUTCROP PLANT COMMUNITIES³

Flávio Fonseca do Carmo, Iara Christina de Campos & Claudia Maria Jacobi
Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Brazil

Abstract

Questions: To what extent do fine-scale substrate variations shape the structure and diversity of rock outcrop vascular plant communities? How to define the appropriate scale to measure fine-scale substrate heterogeneity in rocky systems?

Location: Nine rock outcrops in the Iron Quadrangle, a priority area for biodiversity conservation in Southeast Brazil.

Methods: Geomorphology and rock mechanics methods were adapted to determine the appropriate scale to measure surface heterogeneity of rock outcrops and to investigate if the plants respond to this scale. For this, a variogram method was used to measure rock surface by means of a roughness index calculated from 180 microtopographic profiles. This index was tested at five different centimetric scales against a response variable represented by presence/absence of vascular plants. Both the topographic and vegetation data were collected from four 25-m transects in each outcrop. The best scale to diagnose the presence of vascular plants was selected based on the area under the receiver operating characteristic (ROC) curve (AUC). Non-parametric ANOVA was used to detect differences in roughness, soil depth and inclination among outcrops sampled from the three predominant rock types: granitoid, quartzite and canga (ironstone). The relation between plant community parameters and surface heterogeneity was quantified through linear regressions of four variables: richness, abundance, total plant cover and dominant species cover. To investigate if the communities exhibit different patterns in response to roughness variations, a similarity matrix was constructed comparing the percent cover of functional groups, and diversity profiles were built based on Rényi's alpha. PerMANOVA was used to test for significant difference in the relative cover among the functional groups.

³ Capítulo submetido ao *Journal of Vegetation Science*

Results: The roughness index scaled at 1 cm showed the best power (AUC = 0.88) to diagnose the presence of vascular plant. One quartzitic and the three granitoid outcrops were those with highest frequencies (>60%) of smooth microtopographic profiles. The three cangas, with lowest frequencies (15%) of smooth profiles, and two quartzites (40-45%) integrated the coarse group. In these rock systems, high surface heterogeneity was caused by high frequency of fissures, cracks, and rock detritus. The linear regression models indicated that the community parameters are strongly related to variations in surface roughness. The community patterns revealed by the cluster analysis and the diversity profiles matched those of the roughness analysis. Marked differences in dominant functional groups were found, correlated with ‘smooth’ and ‘coarse’ microtopography. The community composition based on functional groups was significantly different (PerMANOVA $F = 15.1$, $P < 0.01$) between the two main clusters (smooth vs. coarse outcrops). The four smooth outcrops had more than 60% desiccation-tolerant plants in their composition, while sclerophytes and graminoids were better represented in the five coarse elements.

Conclusions: The use of roughness as a descriptor of surface heterogeneity was central in obtaining the necessary accuracy to quantify rock microtopography. The composition of plant functional groups was shaped by the distinct parent rock microrelief, and roughness was a significant predictor of important plant community parameters. Functional group variations reflected different adaptive plant strategies to two main stressful bedrock features: water shortage and mechanic resistance to root growth. This work represents one of the first empirical studies to demonstrate that fine-scale variations of rock surface promote alterations in plant community composition.

Keywords: Canga; Endemism; Microtopography; Plant Functional Groups; Roughness Index

Introduction

Despite a prevalent severe edapho-climatic setting and low productivity, rock outcrops harbor plant communities that may be very diverse and with high levels of endemism. This is explained in part by the high heterogeneity and fragmented nature of these environments, and the specific adaptive traits of their associated plants to harsh conditions (Porembski & Barthlott 2000a; Scarano, 2007). On a microtopographic scale, rock weathering results in a mosaic of habitats formed by cracks, pores, blocks, drainage channels, fissures, depressions,

and other substrate irregularities that influence water and nutrient accumulation, thereby modifying microclimatic conditions (Larson et al. 2000; Porembski & Barthlott 2000a; Jacobi et al. 2007). Because weathering is a function of rock type and climate, the composition and proportion of microstructures will vary among lithotypes and sites. In turn, the topographic heterogeneity may influence the opportunities and means for plant fixation and consequently the proportion of plant functional groups (Hugget 1995; Porembski & Barthlott 2000a), i.e. species that share similar characters involved in adaptive responses to stressing conditions. It is now consensus that functional diversity is a preferred descriptor to species richness regarding many aspects of ecosystem functioning, including changes in biodiversity and its consequences (Hillebrand & Matthiessen 2009). The ‘functional-type’ approach, however, has not been fully incorporated into ecosystem processes studies, partly because quantification of functional diversity is still lacking rigor (Díaz & Cabido 2001).

Regardless of the obvious connection between the successful establishment of individual plants and the substrate, few fine-scale observational studies of the relation between spatial heterogeneity and plant communities have been performed exclusively in rupestral systems or have yielded quantitative results (Lundholm & Larson 2003; Kuntz & Larson 2006; Lundholm 2009). A possible cause is the difficulty in measuring substrate heterogeneity (Li & Reynolds 1995; Dufour et al. 2006). Among the various aspects that contribute to this problem are the multiple concepts of heterogeneity, the difficulty in quantifying its many dimensions and, especially, the frequently arbitrary choice of scale of investigation (Auerbach & Shmida 1987; Lundholm 2009). In this scenario, Li & Reynolds (1995) present an operational definition of heterogeneity based on two components: one that quantifies the structural properties (structural heterogeneity) of a system, and another (functional heterogeneity) related to the variability in the system that influences organisms or ecological processes (Kolasa & Rollo 1991).

The effects of substrate heterogeneity on plant communities at a fine scale are best seen by focusing on the alterations in the spatial arrangement of microforms on the rock surface (such as pores, fissures, nodules, and centimetric to millimetric projections and depressions). These microforms, in turn, are predominantly determined by weathering, which affects the grain size of the constituent minerals, and by microtectonic elements, like foliations and microstructures (Porembski & Barthlott 2000a; Passchier & Trouw 2005). This approach is based on a ‘primary’ surface roughness concept (Belem et al. 2000), which is best measured by means of an index that allows to capture and compare differences in microstructure.

Our study was conducted in the Iron Quadrangle, a priority region for the conservation of biodiversity in Southeast Brazil (MMA, 2008). We studied rock outcrops from three different rock types and therefore subjected to different responses to weathering processes. The extreme scarcity of soil that characterizes outcrops in general makes these habitats an ideal model to test the effect of structural heterogeneity of each lithotype on its associated plant community. Specifically, we investigated if fine-scale variations of surface roughness are associated with alterations in the diversity and proportions of plant functional groups, therefore strengthening the connection between geodaphic processes and ecosystem functioning.

Methods

Study area

The Iron Quadrangle (23 K, 626655 7769985), a region of *ca.* 7200 km², is located in Minas Gerais state, southeast Brazil and contained within two biodiversity hotspots (Mittermeier et al. 2004): Atlantic Rainforest and Cerrado (Brazilian savanna). The climate is characterized by dry winters and rainy summers, with mean annual rainfall of 1500 mm and mean annual temperature around 20°C. The region is one of the most geologically diverse in the country, with several types of rock massifs that may reach an altitude of 2000 m (Dorr II 1969), and the Iron Quadrangle is recognized as one of the largest diversity centers of the flora in eastern Brazil. Mountaintop rock outcrops contribute largely to this diversity, because of their dominance of herbs and shrubs and high levels of endemism. As tropical geosystems, they are subjected to intense weathering processes (Salgado et al. 2008), which have resulted in distinct rock profiles where the effects of structural heterogeneity on the associated plant communities are directly felt. Most of the outcrops in the Iron Quadrangle are currently threatened by urban expansion and mining activities (Versieux & Wendt 2007; Echternacht et al. 2011; Jacobi et al. 2011; Jacobi & Carmo 2012), in particular cangas, the local name for ironstone duricrusts which may spread along the mountaintops over thousands of hectares (for details see Dorr II 1969; Carmo & Jacobi 2012).

During the rainy season (December 2010 through March 2011), nine rock outcrops within the Iron Quadrangle were surveyed, corresponding to the three main lithotypes in the region (Table 1): granitoids, quartzites and cangas (ironstones). The mean linear distance among outcrops was 36.5 ± 22.6 km, and the minimum and maximum distances were 1 km (between Ca1 and Qz3) and 78 km (between Gr1 and Gr2), respectively.

Table 1. Location and characterization of the rock outcrops in the Iron Quadrangle, southeast Brazil. * Dorr II (1969).

| Code | Lithotype | Coordinates (UTM 23 K) | | Maximum Altitude (m) | Main minerals* |
|------|-----------|---------------------------|---------|-------------------------|-------------------------------------|
| Gr1 | Granitoid | 670771 | 7799877 | 790 | feldspar, quartz, biotite |
| Gr2 | Granitoid | 610701 | 7752298 | 1130 | |
| Gr3 | Granitoid | 635851 | 7776359 | 1200 | |
| Qz1 | Quartzite | 661343 | 7775693 | 1840 | quartz, muscovite |
| Qz2 | Quartzite | 608722 | 7751696 | 1360 | |
| Qz3 | Quartzite | 608800 | 7756785 | 1340 | |
| Ca1 | Canga | 637525 | 7777908 | 1540 | hematite, limonite, magnetite |
| Ca2 | Canga | 604791 | 7783231 | 1630 | |
| Ca3 | Canga | 610856 | 7751133 | 1470 | |

Surface heterogeneity

In each outcrop, four 25-m transects were placed, avoiding areas with decimetric or metric irregularities, such as boulders, drainage channels, or large fractures and depressions. This procedure excluded sites where vegetation was conditioned by substantial soil accumulation (e.g. tree associations) or stochastic events (such as variations in water level).

The surface heterogeneity of each outcrop was measured using a roughness index derived from five microtopographic profiles distributed regularly throughout the four transects (at 0-5-10-15-20 m; N=20 profiles). For this, a field device adapted from Moreno et al. (2008) was used, expressly developed to record surface irregularities. The device is composed of 40 steel spikes (length 30 cm, diameter 2 mm) evenly hanging at 1 cm intervals from an aluminum bar. When it is placed on the outcrop, the spikes retreat according to the relief. The resulting profile was drawn on a millimeter sheet. The inclination of each profile was measured with a clinometer attached to the center of the aluminum bar. Soil depth was estimated by vertically inserting a pachymeter probe in the designated points, until the rock was reached.

Plant community

In each outcrop the percentage of plant cover was defined by the linear extension of the aerial part of each individual projected horizontally along the transects (total 100 m). For species with clonal growth, each visually isolated ramet was counted as an individual. We

calculated: total plant cover (TPC) = sum of the linear projection of all individuals; relative cover (RC) = percentage of linear projection of a species. The percentage of exposed (bare) rock in each outcrop was the sum of the segments devoid of plants.

Species were classified into six functional groups, based on growth forms and morphological or ecophysiological characteristics related with adaptations to stressful geodaphic conditions, following Balslev & Luteyn (1992) and Porembski & Barthlott (2000a): (1) sclerophytes: herbs, shrubs and subshrubs (<1.5 m high) showing microphyly or coriaceous leaves, phyllotaxis, and often imbricate and ericoid habit; (2) graminoid herbs: perennial or annual plants with fasciculate root system; (3) succulents: when structures of water storage (pseudobulbs or columnar branches) are present; (4) resurrection or desiccation-tolerant plants: exhibit ecophysiological mechanisms to survive cycles of dehydration and rehydration; (5) acaulescent rosette plants; (6) tussock herbs: rhizomatous plants with leaves arranged in very dense tussocks and culms up to 2 m height. Clonal growth is very frequent in functional groups 2, 3, 4, 5 and 6. In group 4 clonal growth is characterized by short and compact connections between ramets and very slow radial growth (Lovett-Doust 1981). The few species that did not fit the previous descriptions, such as geophytes (e.g. *Sinningia rupicola*) or saprophytes (e.g. *Utricularia* spp), were grouped as 'Others'. The taxonomic nomenclature followed the Brazilian Flora Checklist (Lista de Espécies da Flora do Brasil, 2012).

Data Analysis

The variogram method was used to measure rock surface heterogeneity by means of a roughness index (RI). The method is considered among the most appropriate, since roughness is a scale-dependent property (MacCarrol & Nesje 1996; Moreno et al. 2008), and was adapted from a procedure proposed by MacCarrol & Nesje (1996). The RI was estimated from equally spaced points according to Eq. 1:

$$\text{Roughness index} = \sqrt{1/N-h\sum(x_i-x_{i+h})^2} \quad (1)$$

where N = total number of points, h = horizontal scale, i.e. distance between points in the profile, x_i = height at point i .

The diagnosis of a roughness scale is fundamental to obtain the necessary accuracy to quantify microstructures, since the aim is to corroborate if fine-scale variations of surface

roughness are correlated with varying proportions of plant functional group and diversity. To investigate which was the most appropriate scale to measure roughness we calculated it using five intervals (*h*): 5 cm, 4 cm, 3 cm, 2 cm, and 1 cm (RI_5 to RI_1 respectively). This was followed by a diagnostic test using the method of the area under the ROC (receiver operating characteristic) curve, or AUC, consisting of a graph in which the rates of true positives (sensitivity, Eq. 2) are plotted on the Y axis and the rates of false positives on the X axis (1-specificity, Eq. 3) (Swets 1988; Fawcett 2006).

$$\text{sensitivity} = a/(a+c) \quad (2) \quad \text{and} \quad \text{specificity} = d/(b+d) \quad (3)$$

in which *a*, *b*, *c*, and *d* represent the predicted number of true positives, false positives, false negatives, and true negatives respectively (Fielding & Bell 1997).

Both parameters of performance discrimination (sensitivity and specificity) were derived from logistic regression models (Pearce & Ferrier 2000) in which the predictor variable corresponded to the RI and the response variable was the presence/absence of vascular plants observed in each of the 180 microtopographic profiles. The analysis was performed using MYSTAT (2012). The AUC provides a measure of the discriminatory ability of the test, in which values of 0.5 indicate absence of discriminatory performance, or random predictions, values between 0.5 and 0.7 denote low accuracy, and values above 0.8 indicate an excellent performance (Swets 1988; Manel et al. 2001).

In each outcrop, the microtopographic profiles were organized in 10 roughness classes. Non-parametric ANOVA (Kruskal-Wallis test H) were conducted using the software PAST 2.17 (Hammer et al. 2001) to test for differences in roughness, soil depth, and inclination values. After this, a multiple comparison (Student-Newman-Keuls test) was performed to identify in which outcrops the distributions were significantly different (Sokal & Rohlf 1995).

The relations between response variables (richness, abundance, total and relative cover of the dominant species) and the predictor variable RI were quantified with linear regressions. Logarithmic transformations were made to comply with the normality assumptions (Shapiro-Wilk test) and homoscedasticity (Levene's test). The models were evaluated with the determination coefficients (R^2) and F ratio (Sokal & Rohlf 1995). The absence of spatial autocorrelation assumptions was evaluated with correlograms produced with Moran's index, followed by a test of global significance using a sequential Bonferroni correction (Fortin & Dale 2005) and were performed with SAM 4.0 (Rangel et al. 2010).

A cluster analysis based on the Bray-Curtis similarity index and UPGMA clustering criterion was used to expose the similarities among plant functional groups, based on their relative cover. To test for significant differences in the relative cover we used the permutational multivariate analysis of variance PerMANOVA based on Bray-Curtis distances. The test significance was evaluated with 10 000 permutations (Anderson 2001; McCune & Gace 2002) and were performed with PAST 2.17 (Hammer et al. 2001).

The communities' diversity was compared with Rényi's diversity ordering (Tóthmérész 1995). This method is based on diversity profiles, where an increase in parameter α of the Rényi series results in higher weights attributed to abundant species: when $\alpha=0$, the diversity value is the total number of species; α approaching 1 is equivalent to Shannon's H' ; $\alpha=2$ is equivalent to Simpson's index; and the influence of rare species decreases as from $\alpha>2$. Therefore, a community A will be more diverse than B if the diversity profile of A is above that of B, independently of the parameter α analyzed (Tóthmérész 1995; Liu et al. 2007). Diversity profiles were compared by means of confidence intervals (CI \pm 95%) obtained after 2000 permutations using PAST 2.17 (Hammer et al. 2001). The resulting pattern was compared to the cluster analysis output.

Results

Surface heterogeneity

The predictor variable based on RI_1cm (i.e. $h = 1$ cm) obtained the best power to diagnose the presence of vascular plants (AUC = 0.88), followed by RI_2 cm (AUC 0.83), RI_3 cm (AUC 0.83), RI_4 cm (AUC 0.79), and RI_5 cm (AUC 0.78). Thus, all further analyses used RI values calculated with the 1cm h interval.

The three granitoid and the Qz1 outcrops were those with highest frequencies (>60%) of microtopographic profiles that had RI < 0.35 (Fig. 1; Table 2). These 'smooth substrates' were predominantly associated with low occurrence of microforms which, when present, were shallow, with small depressions, shear bands or alveoli, resulting in very smooth rock surfaces. The 'coarse substrates', at the other end, were observed in the three cangas, with lowest frequencies (15%) of smooth microtopographic profiles, and in outcrops Qz2 and Qz3 (40-45%). Roughness in cangas was related to a high frequency of cemented rocky detritus of different sizes (pebbles to cobbles) interspersed with fissures and cracks widely distributed throughout the outcrops. Cangas were also characterized by the smallest bare rock values (<41%, Table 2), compared to values (>75%) in the smoothest outcrops (See Appendix S1 for examples of surface profile in rock outcrops according to roughness class).

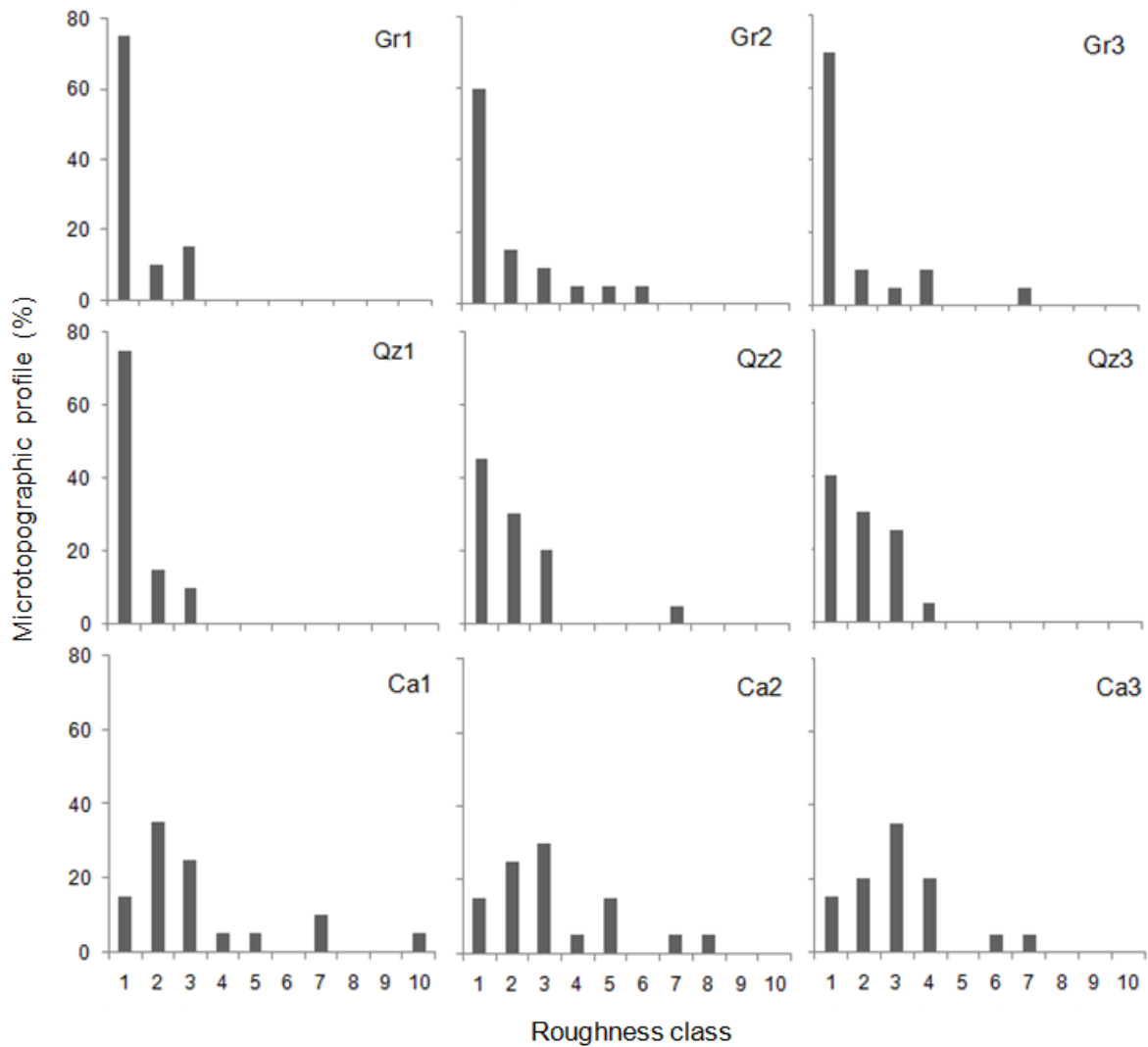


Fig. 1. Microtopographic profile distribution based on roughness class, in nine rock outcrops, Iron Quadrangle, Brazil. Class: 1 (RI \leq 0.35), 2 (RI 0.36-0.7), 3 (RI 0.71-1.05), 4 (RI 1.06-1.4), 5 (RI 1.41-1.75), 6 (RI 1.76-2.1), 7 (RI 2.11-2.45), 8 (RI 2.46-2.8), 9 (2.81-3.15), 10 (RI \geq 3.16). Gr: granitoid; Qz: quartzite; Ca: canga (ironstone).

The different surfaces roughness resulted in different RI values ($H = 49.2$; $p < 0.01$). Among the granitoids, Gr1 showed difference with the two others ($p < 0.05$), and the same was observed for Qz1 ($p < 0.05$). No significant difference was detected among the cangas ($p > 0.05$). No significant differences ($p > 0.05$) were found in the pairwise comparisons between Gr1-Qz1, Gr2 and any quartzite, Gr3-Qz2, Gr3-Qz3, Ca1-Qz2, and Ca1-Qz3.

The outcrops were characterized by surfaces displayed in predominantly horizontal planes, with medians $< 6.5^\circ$ (Table 2), and there was no significant difference ($H = 14$; $p > 0.05$) among inclinations. Soils were very shallow, with median < 6.3 cm (Table 2), and the majority (60%) of the 2138 soil depth measures corresponded to the fine layer (< 2 cm)

composed of rock fragments (mainly granules and pebbles) and sand accumulated in fissures and other microstructures. Among the outcrops there were differences in soil depth ($H = 452$; $p < 0.01$). Of 36 pairwise comparisons, only Gr1-Gr3, Qz1-Qz2, Qz2-Ca1, and Ca2-Ca3 were not significantly different ($p > 0.05$). However, no correlation was found between soil depth and RI. The largest soil depths were predominantly associated with the organic sediment layer originated from clonal species, or associated with holes and deeper depressions. In the first and more frequent situation, soil gathered within the ramets, therefore not directly depending on the rock roughness but rather the clone size. In the second and less frequent, soil depth was directly dependent on rock heterogeneity.

Table 2. Roughness, inclination and soil depth in nine rock outcrops, Iron Quadrangle, Brazil. RI: Roughness index (cm); Gr: granitoid; Qz: quartzite; Ca: canga.

| | Gr1 | Gr 2 | Gr3 | Qz1 | Qz2 | Qz3 | Ca1 | Ca2 | Ca3 |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RI _{median} | 0.14 | 0.29 | 0.30 | 0.21 | 0.37 | 0.49 | 0.59 | 0.74 | 0.79 |
| RI _{min} | 0.10 | 0.10 | 0.14 | 0.10 | 0.10 | 0.14 | 0.30 | 0.23 | 0.24 |
| RI _{max} | 0.92 | 2.11 | 2.34 | 0.76 | 2.16 | 1.39 | 3.66 | 2.64 | 2.12 |
| Inclination _{median} (°) | 6.5 | 6.5 | 5.5 | 4 | 6.5 | 6 | 4 | 4 | 3.5 |
| Inclination _{min} (°) | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Inclination _{max} (°) | 14 | 15 | 11 | 13 | 16 | 15 | 12 | 13 | 9 |
| Soil depth _{median} (cm) | 4.6 | 6.3 | 4.4 | 2.45 | 2 | 2.9 | 1.7 | 1.1 | 0.9 |
| Soil depth _{min} (cm) | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0 |
| Soil depth _{max} (cm) | 14.1 | 14.3 | 14.4 | 10.7 | 14 | 14.8 | 15 | 13 | 7.8 |
| Bare rock (%) | 76.8 | 74.8 | 75.9 | 77.6 | 73.1 | 60.8 | 41.1 | 42.2 | 30.7 |

Plant community

A total of 2138 individuals were found along the transects, belonging to three species of pteridophytes and 127 of angiosperms. The value ranges of richness, abundance, total plant cover and dominant species cover were considerable when comparing smooth with coarse outcrops (Table 3).

Variation in community parameter values was strongly related to surface roughness (Fig. 2). Contrary to the other response variables, the dominant species relative cover was negatively correlated with RI.

Table 3. Parameters of the plant community associated with the nine rock outcrops, Iron Quadrangle, Brazil. TPC: total plant cover; DSC: dominant species cover; Gr: granitoid; Qz: quartzite; Ca: canga (ironstone).

| | Gr1 | Gr 2 | Gr3 | Qz1 | Qz2 | Qz3 | Ca1 | Ca2 | Ca3 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Richness | 11 | 17 | 16 | 15 | 25 | 33 | 35 | 42 | 35 |
| Abundance | 100 | 130 | 119 | 112 | 199 | 288 | 401 | 390 | 399 |
| TPC (m) | 28.6 | 33.8 | 27.0 | 21.8 | 35.0 | 49.9 | 81.4 | 72.3 | 103.0 |
| DSC (%) | 50.7 | 60.7 | 35.2 | 46.8 | 20.0 | 27.3 | 20.3 | 20.3 | 15.8 |

The dominant species were *Vellozia albiflora* Pohl (35.2% to 60.7% plant cover) among granitoids, and *Vellozia compacta* Mart. ex Schult. & Schult.f (20% to 46.8%) among quartzites. *Axonopus siccus* (Nees) Kuhl. (Poaceae) was dominant in Ca1 (20.3% plant cover), while the sclerophyllous shrubs *Lychnophora pinaster* Mart. (Asteraceae) and *Mimosa calodendron* Mart. ex Benth. (Fabaceae) dominated in Ca2 (20.3%) and Ca3 (15.8%), respectively. Among the dominant species, only *A. siccus* has ample distribution, throughout South America (Rocha & Secco 2004). The others have restricted distribution, though always associated with rocky systems. *Vellozia albiflora* occurs only in southeast Brazil, *V. compacta* only in Minas Gerais state, and *L. pinaster* and *M. calodendron* are endemic to the Iron Quadrangle (Mello-Silva 2012; Queiroz & Cardoso 2012; Teles & Hattori, 2012).

The similarity dendrogram (Fig. 3) revealed two main groups. A ‘smooth substrate’ group, formed by the three granitoids and Qz1, where the relative cover (63% to 79%) was composed predominantly of desiccation-tolerant species like *Vellozia* species and *Trilepis lhotzkiana* Nees. These clones, especially *Vellozia*, are characterized by ramets bearing adventitious roots and *velamen radicum*, which favor survival throughout months of water deficit (Porembski & Barthlott 2000b). The smooth group was also characterized by less graminoid cover and by the absence of tussock plants. In this group, Gr1 was segregated from the rest because of the largest relative cover by Bromeliaceae rosette plants among the nine outcrops.

The ‘coarse substrate’ group was constituted by the three cangas and the remaining quartzites Qz2 and Qz3, subdivided in two groups. One was formed by the cangas and characterized by a small relative cover of resurrection plants (<8%) and larger sclerophyte cover (31 to 57%). The prevalence of this functional group occurs associated with very shallow soil (<2cm), representing 60% of the samples in Ca1, 76% in Ca2 and 81% in Ca3.

The cluster formed by Qz2 and Qz3 had other functional groups prevailing: resurrection plants (42%) and graminoids (36%), respectively.

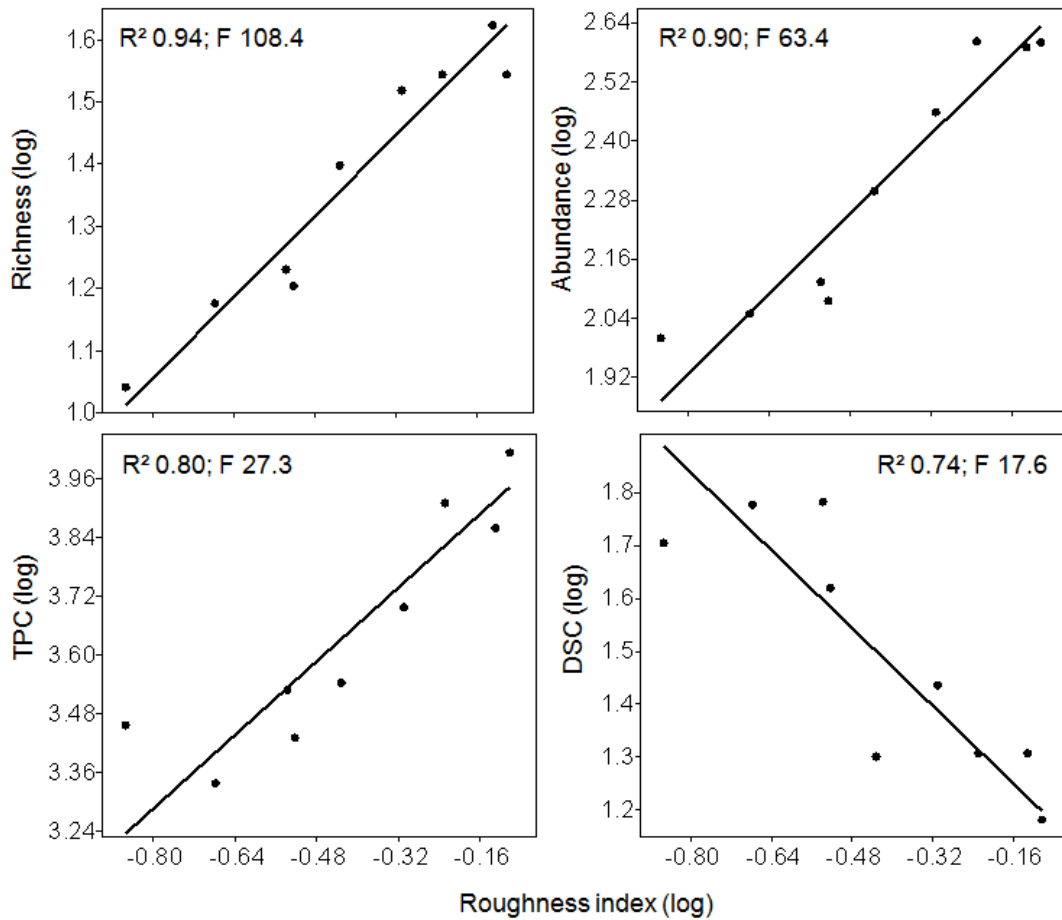


Fig. 2. Simple linear regression models of the response variables to the roughness index RI ($p < 0.01$). TPC: total plant cover; DSC: dominant species cover.

The community composition of the smooth and coarse clusters, based on the relative cover of functional groups, was significantly different (PerMANOVA $F = 15.1$, $p < 0.01$). The communities that composed the coarse group were more diverse (richness and evenness) than those of the smooth cluster (CI $\pm 95\%$) but, within each of the two groups, the diversity profiles crossed each other (Fig. 4), indicating similar values of the α parameter (*sensu* Liu et al. 2007).

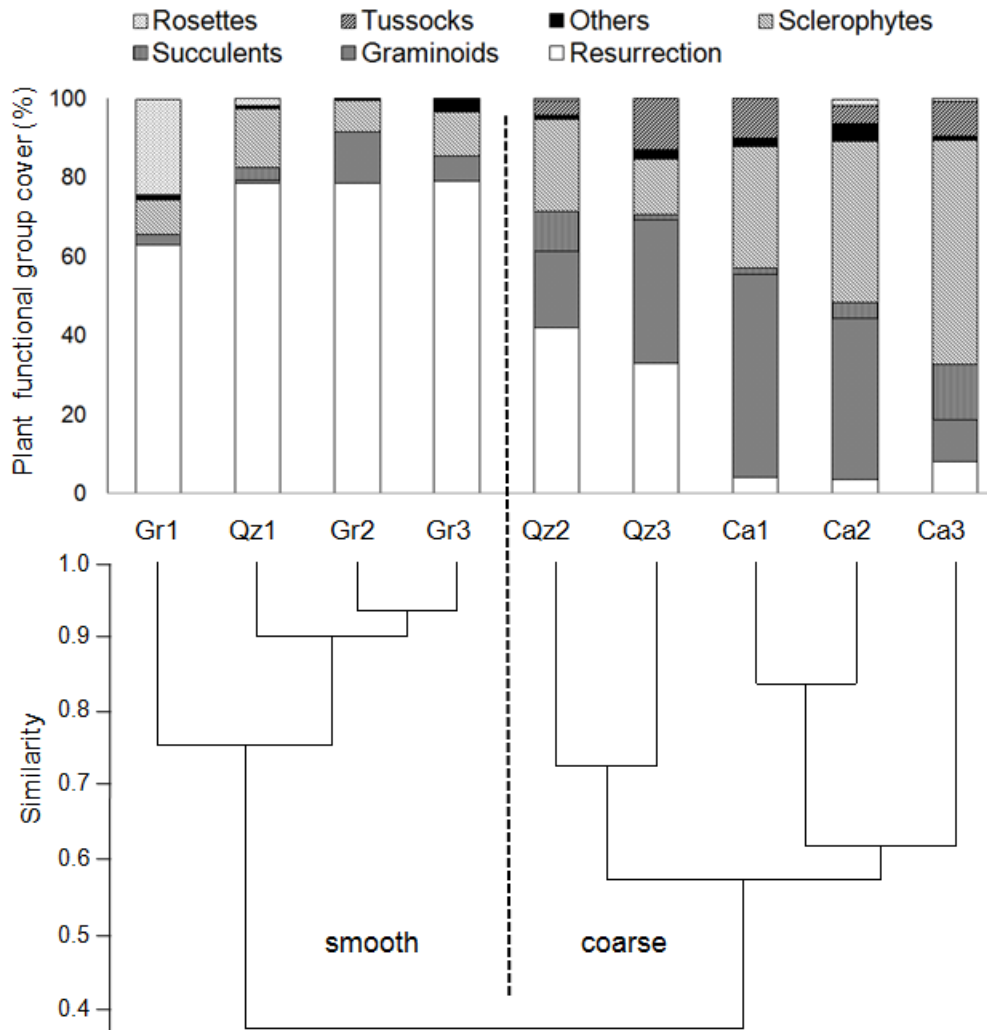


Fig. 3. Rock outcrop plant communities similarity based on the relative cover of functional groups, Iron Quadrangle, Brazil (UPGMA; Bray-Curtis index: cc 0.83). Gr: granitoid; Qz: quartzite; Ca: canga.

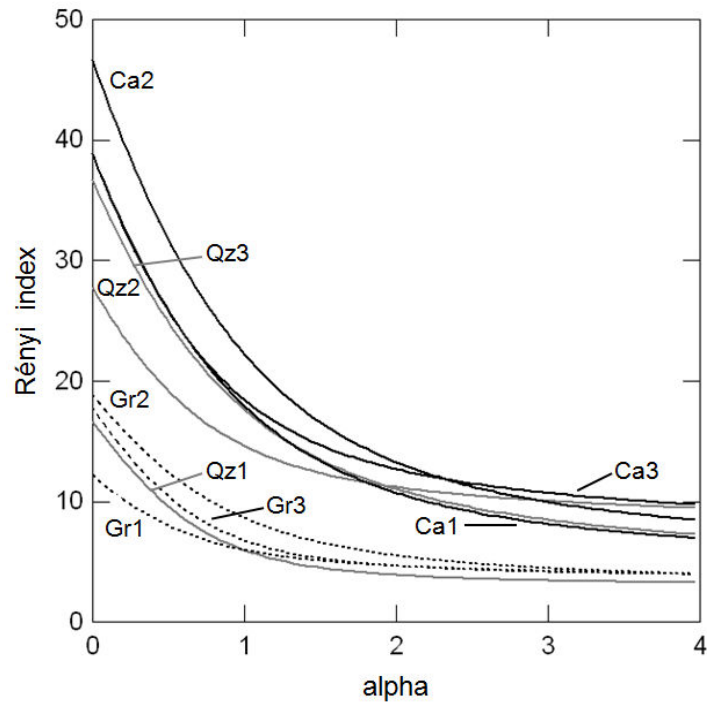


Fig. 4. Diversity ordering (Rényi index) in plant communities of nine rock outcrops, Iron Quadrangle, Brazil. Cangas (Ca): black line; Granitoids (Gr): black dotted line; Quartzites (Qz): gray line. Confidence intervals not drawn.

Discussion

Our results indicate that in plant-rock interfaces roughness is a strong predictor of important plant community parameters such as cover, abundance, and richness. Two factors that contributed to highlight this result were the use of methods that successfully detected microtopographic features and the *a priori* determination of the scale of investigation of structural heterogeneity (surface roughness). Considering the small size of the majority of the rock outcrop plant species, roughness best assessed at a centimetric scale was already expected.

Rock surfaces with high roughness might be predicted to contain safe sites, or “nurse objects” (*sensu* Munguía-Rosas & Sosa 2008), that improve environmental conditions and increase the probability of seedling establishment (Lundholm & Larson 2003), by providing mechanisms of abiotic facilitation and seed protection against predators (Flores & Jurado 2003). A strong plant-substrate specificity has already been observed in many narrow-endemic plants in rocky habitats (Huggett 1995; Poot et al. 2012). A recent study in the Iron Quadrangle (Messias et al. 2013), for example, pointed out soil chemical and structural differences between quartzitic and ferruginous rocky outcrops. However, the main

mechanisms and processes that affect these communities may depend primarily on roughness characteristics, irrespectively of soil origin, or even operate in a complex interaction with surface heterogeneity. Porembski & Barthlott (2000) have pointed out the ‘superficial similarity between different outcrop types’, to emphasize that monocot mats are much more common in inselbergs (granitoid) than other rock types. While it is common knowledge that rupicolous plant communities respond to rock types, this phenomenon has been only loosely attributed to microtopography (i.e. differential weathering).

Among the key bedrock factors that shape rupicolous plant communities are the ability to store and recharge water, and its mechanic resistance to root growth (Porembski & Barthlott 2000a; Clark et al. 2003; Schwinning 2010). These two key factors depend on the physical properties of rocks such as porosity, impedance and fluid diffusion, which in turn relate to the spatial arrangement of rock surface microforms (Bremer & Sander 2000; McKay et al. 2005; Vepraskas 2005). Thus, smooth outcrops, with low frequency of microforms to provide a suitable habitat, would offer the toughest establishment conditions and least resources for seedlings. In this situation, low species richness is expected, with predominance of species with low relative competitive abilities and growth rates traded for high survival abilities (Porembski & Barthlott 2000a; Bruno et al. 2003). Smooth outcrops in the Iron Quadrangle harbored less diverse communities, with monodominance of desiccation-tolerant clonal plants. In smooth surfaces root anchorage is challenging, so large clonal plants are capable to overcome unfavorable conditions on the bedrock and to access and exploit resources available in the infrequent microstructures (Pennings & Calaway 2000; Liu et al. 2007). Desiccation-tolerant -or resurrection- plants are among the most frequent in several studies on inselbergs located in tropical and temperate regions (see references in Porembski & Barthlott 2000a, 2000b).

On the other end, the high frequency of microforms and other irregularities that characterize coarse outcrops may shelter a larger amount of resources and more favorable microclimatic and physical conditions, resulting in plant communities that are more diverse and with a wider range of better-distributed functional groups. It is expected that both resource partitioning and competition stand among the most relevant mechanisms in this situation (Poot & Lambers 2003; Richardson et al. 2012). However, some studies featuring rock systems argue that spatial constraints represented by rock interstices (i.e. fissures and others) may often separate individual root systems, thereby decreasing the effect of competition (see Poot & Lambers 2003 and Schwinning 2010). In Brazilian cangas, a relevant portion of plant biomass is under the bedrock, where the root system may penetrate several

meters through fissures and microcrevices and form, in some cases, massive columnar structures in the underlying rocks (Carmo & Jacobi 2013). In Australian ironstones, many narrow endemic sclerophyllous shrubs show trade-off in allocation pattern and root morphology, investing in root biomass to explore a large rock surface area and compromising their above-ground competitive ability (Poot & Lambers 2003; 2008). The authors suggest that the root system of sclerophyllous shrubs is extremely adapted to the physical conditions, with a root foraging strategy that increases their chance of finding nutrients and water in the rock interstices. The processes that act in root-rock interface have been poorly investigated, and field studies are still less frequent, so that the understanding of below-ground competition is dependent on more research and experiments.

This work represents one of the first empirical studies to demonstrate that fine-scale variations of surface rocks affect the proportions of plant functional groups. These functional response types often coincide with plant functional effects on the main ecosystem processes, such as nutrient cycling and primary productivity (Díaz & Cabido 2001). The role of dominant plants in rock systems still needs to be investigated but, *a priori*, distinctive traits in dominant plant functional types between coarse and smooth outcrops, or along a roughness gradient, may reflect different effects on key ecosystem processes. This approach can elucidate the link between surface heterogeneity and ecosystem functioning.

The next steps are to use experimental designs to explore and refine the analysis of rock outcrops structural heterogeneity, quantify the variations in physical substrate properties such as texture, porosity and impedance, and relate these with plant responses to heterogeneity variation. Advancements in these areas will be fundamental in developing effective applications for our understanding of different types of communities in rocky systems, especially in areas that have been impacted and require restoration management.

Acknowledgements

This study received support from the Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) and the Minas Gerais State Research Foundation (FAPEMIG). We thank Ericson Faraco for his help in the field, and the Minas Gerais State Forestry Institute (IEF-MG) for granting the collection licenses. FFC and ICC received CNPq scholarships, and CMJ was supported by a research productivity grant from CNPq.

References

- Anderson, M. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology* 26: 32-46.
- Auerbach, M. & Shmida, A. 1987. Spatial scale and the determinants of plant species richness. *Trends in Ecology and Evolution* 2: 238-242.
- Balslev, H. & Luteyn, J. 1992. *Paramo: an Andean ecosystem under human influence*. Academic Press, London.
- Belem, T., Homand-Etienne, F. & Souley, M. 2000. Quantitative parameters for rock joint surface roughness. *Rock Mechanics and Rock Engineering* 33: 217-242.
- Bremer, H. & Sander, H. 2000. Inselbergs: Geomorphology and Geocology. In: Porembski, S. & Barthlott, W. (eds.) *Inselbergs. Biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions*, pp. 7-35. Springer-Verlag, Berlin.
- Bruno, J.F., Stachowicz, J.J. & Bertness, M.D. 2003. Inclusion of facilitation into ecological Theory. *Trends in Ecology and Evolution* 18:119-125.
- Carmo, F.F. & Jacobi, C.M. 2012. The cangas of the Iron Quadrangle. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (orgs.) *Floristic diversity of the Quadrilátero Ferrífero Cangas*, pp. 14-30. Ed. IDM, Belo Horizonte.
- Carmo, F.F. & Jacobi, C.M. 2013. Canga vegetation in the Iron Quadrangle, Minas Gerais: characterization and phytogeographical context. *Rodriguésia* 64(3): 527-541.
- Clark, L.J., Whalley, W.R. & Barraclough, P.B. 2003. How do roots penetrate strong soil? *Plant and Soil* 255: 93-104.
- Díaz, S. & Cabido, M. 2001. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution* 16: 646-655.
- Dorr II, J. v. N. 1969. *Physiographic, stratigraphic and structural development of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. USGS. Prof. Paper, 641-A, Washington.
- Dufour, A., Gadallah, F., Wagner, H.H., Guisan, A. & Buttler, A. 2006. Plant species richness and environmental heterogeneity in a mountain landscape: effects of variability and spatial configuration. *Ecography* 29: 573-584.
- Echternacht, L., Trovó, M., Oliveira, C.T. & Pirani, J.R. 2011. Areas of endemism in the Espinhaço Range in Minas Gerais, Brazil. *Flora* 206: 782-791.
- Fawcett, T. 2006. An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters* 27: 861-874.
- Fielding, A.H. & Bell, J.F. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation* 24: 38-49.

- Flores, J. & Jurado, E. 2003. Are nurse-protégé interactions more common among plants from arid environments? *Journal of Vegetation Science* 14: 911-916.
- Fortin, M.-J. & Dale, M.R.T. 2005. *Spatial analysis. A guide for ecologists*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. 2001. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica* 4: 1–9.
- Hillebrand, H. & Matthiessen, B. 2009. Biodiversity in a complex world: consolidation and progress in functional biodiversity research. *Ecology Letters* 12: 1-15.
- Huggett, R.J. 1995. *Geoecology, an evolutionary approach*. Routledge, New Fetter Lane.
- 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., Campos, I.C. 2011. Soaring extinction threats to endemic plants in Brazilian metal-rich regions. *AMBIO* 40:540-543.
- Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. 2012. *Floristic Diversity of the Quadrilátero Ferrífero Cangas*. Ed. IDM, Belo Horizonte.
- Kolasa, J. & Rollo, C.D. 1991. Introduction: the heterogeneity of heterogeneity: a glossary. In: Kolasa, J. & Pickett, S.T.A. (eds.) *Ecological heterogeneity*, pp. 1-23. Springer-Verlag, New York.
- Kuntz, K.L. & Larson, D.W. 2006. Microtopographic control of vascular plant, bryophyte and lichen communities on cliff faces. *Plant Ecology* 185: 239-253.
- Larson, D.W., Matthes, U. & Kelly, P.E. 2000. *Cliff Ecology: pattern and process in cliff ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Li, H. & Reynolds, J.F. 1995. On definition and quantification of heterogeneity. *Oikos* 73: 280-284.
- Liu, C., Whittaker, R.J., Ma, K. & Malcolm, J.R. 2007. Unifying and distinguishing diversity ordering methods for comparing communities. *Population Ecology* 49: 89-100.
- Liu, F.H., Yu, F.H., Krusi, B., Cai, X.H., Schneller, J.J. & Dong, M.N. 2007. Large Clones on Cliff Faces: Expanding by Rhizomes through Crevices. *Annals of Botany* 100: 51–54.
- Lovett-Doust, L. 1981. Population dynamics and local specialization in a clonal perennial (*Ranunculus repens*). I. The dynamics of ramets in contrasting habitats. *Journal of Ecology* 69: 743-755.
- Lundholm, J.T. 2009. Plant species diversity and environmental heterogeneity: spatial scale and competing hypotheses. *Journal of Vegetation Science* 20: 377-391.

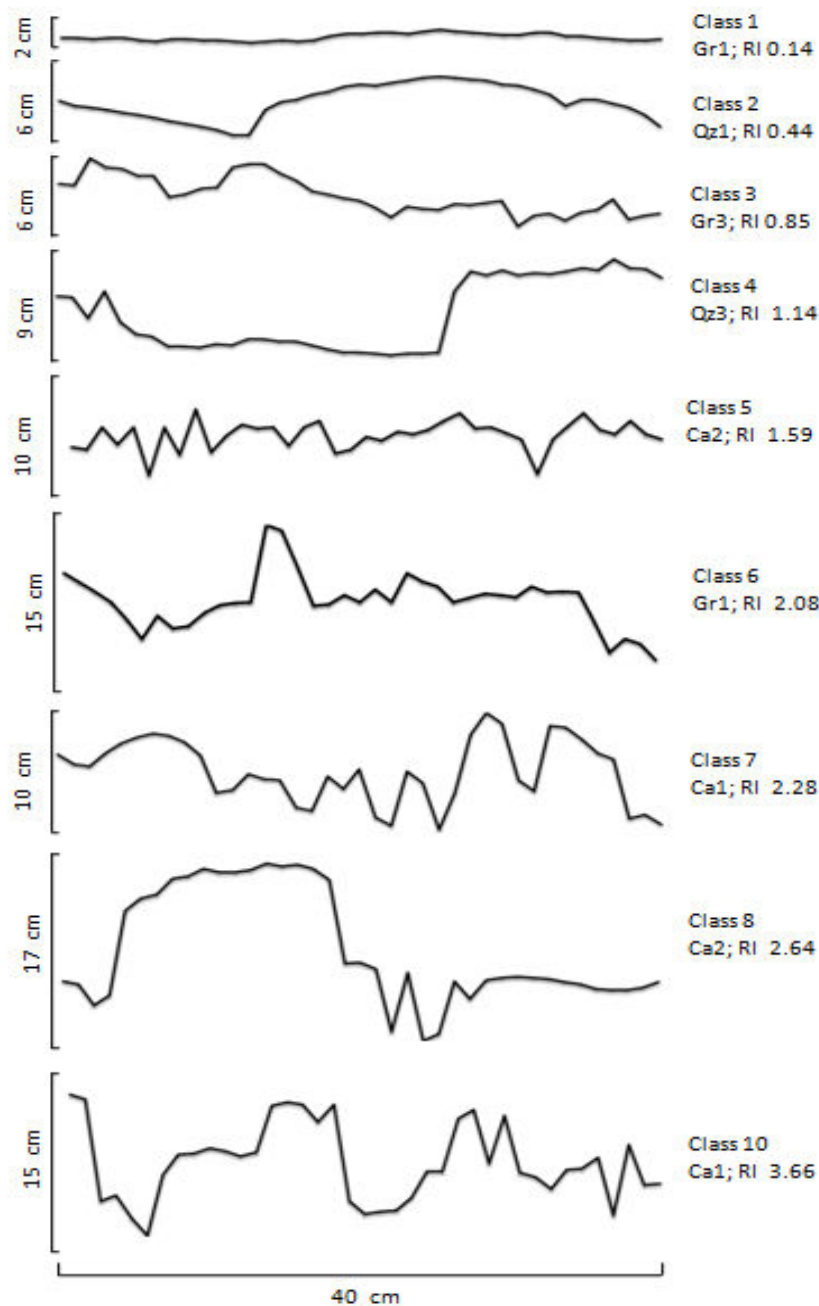
- Lundholm, J.T. & Larson, D.W. 2003. Relationships between spatial environmental heterogeneity and plant species diversity on a limestone pavement. *Ecography* 26: 715–722.
- Manel, S., Williams, C. & Ormerod, S.J. 2001. Evaluating presence-absence models in ecology: the need to account for prevalence. *Journal of Applied Ecology* 38: 921-931.
- McCarroll, D. & Nesje, A. 1996. Rock surface roughness as an indicator of degree of rock surface weathering. *Earth Surface Processes and Landforms* 21:963-977.
- McCune, B. & Gace, J.B. 2002. *Analysis of ecological communities*. MJM Software Design, Glenden Beach.
- McKay, L.D., Driese, S.G., Smith, K.H. & Vepraskas, M.J. 2005. Hydrogeology and pedology of saprolite formed from sedimentary rock, eastern Tennessee, USA. *Geoderma* 126: 27-45.
- Mello-Silva, R. 2012. Velloziaceae. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (orgs.) *Floristic Diversity of the Quadrilátero Ferrífero Cangas*, pp. 200-203. Ed. IDM, Belo Horizonte.
- Messias, M.C.T.B, Leite, M.G.P., Meira-Neto, G.A.A., Kozovits, A.R. & Tavares, R. 2013. Soil-vegetation relationship in quartzitic and ferruginous Brazilian rocky outcrops. *Folia Geobotanica*, 48: 509-521.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. 2008. *Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira*. Ministério do Meio Ambiente, Série Biodiversidade, 31. Brasília: MMA.
- Mittermeier, R.A., Gil, P.R., Hoffman, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C.G., Lamoreux, J. & Fonseca, G.A.B. 2004. *Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*. CEMEX & Agrupación Sierra Madre, México.
- Moreno, R.G., Álvarez, M.C., Requejo, A.S. & Tarquis, A.M. 2008. Multifractal analysis of soil surface roughness. *Vadose Zone Journal* 7: 512-520.
- Munguía-Rosas, M.A. & Sosa, V.J. 2008. Nurse plants vs. nurse objects: effects of woody plants and rocky cavities on the recruitment of the *Pilosocereus leucocephalus* columnar cactus. *Annals of Botany* 101: 175-185.
- Mystat 12. 2012. SYSTAT Software Inc., San Jose, California.
- Passchier, C.W. & Trouw, R.A.J. 2005. *Microtectonics*. Springer-Verlag, Berlin.
- Pearce, J. & Ferrier, S. 2000. Evaluating the predictive performance of habitat models developed using logistic regression. *Ecological Modelling* 133: 225–245.

- Pennings, S.C. & Callaway, R.M. 2000. The advantages of clonal integration under different ecological conditions: a community-wide test. *Ecology* 81: 709–716.
- Poot, P. & Lambers, H. 2003. Are trade-offs in allocation pattern and root morphology related to species abundance? A congeneric comparison between rare and common species in the south-western Australian flora. *Journal of Ecology* 91: 58-67.
- Poot, P. & Lambers, H. 2008. Shallow-soil endemics: adaptive advantages and constraints of a specialized root/system morphology. *New Phytologist* 178: 371-381.
- Porembski, S. & Barthlott, W. 2000a. *Inselbergs. Biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions*. Springer-Verlag, Berlin.
- Porembski, S. & Barthlott, W. 2000b. Granitic and gneissic outcrop (inselbergs) as centers of diversity for desiccation-tolerant vascular plants. *Plant Ecology* 151: 19-28.
- Queiroz, L.P. & Cardoso, D. 2012. Fabaceae. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (orgs.) *Floristic Diversity of the Quadrilátero Ferrífero Cangas*, pp. 124-127. Ed. IDM, Belo Horizonte.
- Rangel, T.F., Diniz-Filho, J.A.F. & Bini, L.M. 2010. SAM: a comprehensive application for Spatial Analysis in Macroecology. *Ecography* 33: 1–5.
- Richardson, P.J., MacDougall, A.S. & Larson, D.W. 2012. Fine-scale spatial heterogeneity and incoming seed diversity additively determine plant establishment. *Journal of Ecology* 100: 939–949.
- Rocha, A.E.S. & Secco, R.S. 2004. Contribuição à taxonomia de *Axonopus* P. Beauv. (Poaceae) no Estado do Pará, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 18: 295-304.
- Salgado, A.A.R., Braucher, R., Varajão, C.A.C., Colin, F. & Júnior, H.A.N. 2008. Relief evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brazil) by means of (¹⁰Be) cosmogenic nuclei. *Zeitschrift für Geomorphologie* 52: 317-323.
- Scarano, F.R. 2007. Rock outcrop vegetation in Brazil: a brief overview. *Revista Brasileira de Botânica* 30: 561-568.
- Schwinning, S. 2010. The ecohydrology of roots in rocks. *Ecohydrology* 3: 238-245.
- Sokal, R.R. & Rohlf, F.J. 1995. *Biometry*. 3rd ed. Freeman & Company, New York.
- Swets, J. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 240: 1285-1293.
- Teles, A.M. & Hattori, E.K.O. 2012. Asteraceae. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (orgs.) *Floristic Diversity of the Quadrilátero Ferrífero Cangas*, pp. 82-90. Ed. IDM, Belo Horizonte.
- Tóthmérész, B. 1995. Comparison of different methods for diversity ordering. *Journal of Vegetation Science* 6: 283-290.

Vepraskas, M.J. 2005. Predicting contaminant transport along quartz veins above the water table in a mica-schist saprolite. *Geoderma* 126: 47-57.

Versieux, L.M. & Wendt, T. 2007. Bromeliaceae diversity and conservation in Minas Gerais state. Brazil. *Biodiversity and Conservation* 1: 2989–3009.

Appendix S1. Example of surface profile in rock outcrops, Iron Quadrangle – Brazil, for nine (of ten) roughness classes: Class: 1 (RI \leq 0.35), 2 (RI 0.36-0.7), 3 (RI 0.71-1.05), 4 (RI 1.06-1.4), 5 (RI 1.41-1.75), 6 (RI 1.76-2.1), 7 (RI 2.11-2.45), 8 (RI 2.46-2.8), and 10 (RI \geq 3.16). RI: roughness index; Gr: granitoid; Qz: quartzite; Ca: canga (ironstone).



CAPÍTULO 4

ARE THE COMPOSITION OF ASTERACEAE AND POACEAE INFLUENCED BY DIFFERENCES IN SOIL PROPERTIES IN ROCK OUTCROPS?

Flávio Fonseca do Carmo¹, Aristônio Magalhães Teles², Pedro Lage Viana³, Claudia Maria Jacobi¹

¹Departamento de Biologia Geral, ICB, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901 Belo Horizonte, MG, Brazil; ²Departamento de Botânica, ICB, Universidade Federal de Goiás, Caixa Postal 131, 74001-970 Goiânia, GO, Brazil; ³Museu Paraense Emílio Goeldi, Avenida Governador Magalhães Barata, Nazaré 66040-170 Belém, PA, Brazil.

Abstract

The Iron Quadrangle represents one of the centres of pedodiversity and plant endemism in southeastern Brazil. In this study we characterized and compared physico-chemical properties in soils developed over quartzites, granitoids and canga outcrops. The soil similarity pattern found was compared to the one observed in Asteraceae and Poaceae species composition. The plant list consisted of 242 species and 82 genera, of which 151 species and 54 genera of Asteraceae, and 91 species and 28 genera of Poaceae. Floristic similarity of each family pointed to high beta diversity and more affinity among rock types than sites. The increase in species similarity was not correlated with geographic proximity among outcrops, indicating lack of significant spatial structuring in species composition. The soils of 10 outcrops may be classified as strongly acidic and have very low level of fertility and trace elements composition. As a result of a strong influence of their parent rock, pronounced differences were found in the physico-chemical soil constitution, separating soils developed over cangas, with high concentrations of Fe and Mn, from those developed over silicate rocks, with high values of aluminum saturation index. However the Asteraceae species showed no clear patterns in response to soil fertility and concentrations of trace elements.

Keywords: canga, granitoid, sandstone, co-occurrence, null model, broken-stick criterion, soil fertility, trace elements, metallophytes.

Introduction

Edaphic factors like substrate type, parent rock, and soil physico-chemical properties exert strong influence in the plant diversity and spatial genetic structure, especially when analysing the soil associated with rock outcrops (Kruckeberg, 2004; Huggett, 2005; Alvarez *et al.*, 2009; Butcher *et al.*, 2009). Rock systems in southeastern Brazil are particularly pedodiverse, with various soil types developed quartzites, phyllites, granites, gneiss, and ironstones (Benites *et al.*, 2007; Carvalho-Filho *et al.*, 2010). These systems are home to important plant diversity centres, such as the ones associated to the mountain ranges of

Espinhaço, do Mar, and Mantiqueira (Giulietti *et al.*, 1997; Safford & Martinelli, 2000; Fiasch & Pirani, 2009).

The Iron Quadrangle (hereafter IQ), Minas Gerais state, represents one of these centres of pedodiversity and plant endemism, so far with at least 116 species restricted to this locality, the majority of which occurring only on rock outcrops (Carmo & Jacobi, 2012). The IQ differs from other areas of endemism in southeastern Brazil because of the high metal concentration of its soils, particularly iron and manganese (Dorr II, 1969; Carvalho-Filho *et al.*, 2010). In metalliferous soils some plants are able to accumulate heavy metals up to extremely high concentrations in their tissues. The main heavy metals and metalloids reports of abnormal bioaccumulation by plants are As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, and Zn. Given that metal hyperaccumulation occurs in less than 0.2% of angiosperms, these metallophytes are the object of conservation efforts (Boyd, 2004; Ginocchio & Baker, 2004).

Asteraceae and Poaceae are the dominant families in southeastern Brazil rock outcrops, according to some phytosociological studies of quartzites, granitoids, and ironstones (Conceição & Giulietti, 2002; Ribeiro & Medina, 2002; Caiafa & Silva, 2007; Jacobi *et al.*, 2008; Vincent & Meguro, 2008; Messias *et al.*, 2012). Both families have a large number of species in Brazil, concentrated mainly in open vegetation formations in the Centre-West and montane areas of the South and Southeast. Asteraceae is represented by 2035 species organized in 278 genera (Nakajima *et al.*, 2014) and, in spite of the importance in the floristic composition of Minas Gerais, there are still few checklists in the area (Nakajima & Semir, 2001). Poaceae, with approximately 1428 species and 212 genera in Brazil (Figueiras *et al.*, 2014), also lacks specific studies in the Espinhaço Range region (Viana & Filgueiras, 2008).

In this study we characterized and compared soil physico-chemical properties of outcrops from three different parent materials in the IQ. The similarity patterns in these soils were compared to those of Asteraceae and Poaceae species composition. These families present syndromes with high seed dispersal potential. The main dispersal syndromes are zoochory in Poaceae and anemochory in Asteraceae (Jacobi & Carmo, 2011; Messias *et al.*, 2011). Therefore, assuming that outcrops geographically near each other share the same climatic conditions, we aimed to draw attention to the difference in soil-plant relations.

Methods and material

Study area

The Iron Quadrangle, local name *Quadrilátero Ferrífero*, is located under the phytogeographical influence of the two world biodiversity hotspots: Cerrado, the Brazilian Savanna, and Atlantic Rainforest (Mittermeier *et al.*, 2004). Although the mean annual precipitation is 1500-1900 mm, the region may be subjected to water deficit of five to seven months during the winter and subjected to a tropical sub-humid climate (Dorr II, 1969).

Cangas are outcrops formed at least 50 million years ago by the weathering of subjacent ferriferous rock, resulting in duricrusts with high concentrations of iron oxides and hydroxides like limonite, hematite and goethite. Granitoid outcrops have ages around 2.9-3.2 Ga and with the main minerals are feldspar, quartz and biotite. In spite of the presence of granitoid outcrops in the Iron Quadrangle landscape, the absence of botanical and ecological studies in these environments is notable. Quartzite outcrops are formed by clastic and chemical metasediments with ages around 2.4-2.6 Ga and the main minerals are quartz and muscovite (Dorr II, 1969). According to the main mineral constituents, these outcrops may be grouped into silicate (granitoids and quartzites) and ironstone (oxy-hydroxides cangas) rock types (Fernandes, 2007). The soils derived from these rock systems are shallow and poorly developed and therefore classified as lithosols (i.e. litholic neosols in the Brazilian soil classification system), plinthosols and cambisols (Carvalho-Filho *et al.*, 2010).

Data collection

We investigated 10 outcrops - five cangas, three quartzites and two granitoids - distributed throughout four sites in the Iron Quadrangle (hereafter IQ): Rola Moça, Moeda, Água Limpa and Gandarela (Tab. 1). Area, altitude and geographical coordinates were obtained with a global positioning system - GPS.

Table 1. Location, area and altitude of 10 outcrops from Iron Quadrangle, MG.

| Site/rock type | Code | UTM (23 K) | Area (ha) | Altitude (m) |
|----------------------|------|----------------|-----------|--------------|
| Rola Moça/Canga | C1 | 610856 7751133 | 34.5 | 1430 |
| Rola Moça/Canga | C2 | 636525 7781891 | 24.1 | 1480 |
| Moeda/Canga | C3 | 637525 7777908 | 26.2 | 1528 |
| Gandarela/Canga | C4 | 603709 7781672 | 29.4 | 1610 |
| Gandarela/Canga | C5 | 604791 7783231 | 40.6 | 1630 |
| Moeda/Granitoid | G1 | 610701 7752298 | 6.1 | 1090 |
| Moeda/Granitoid | G2 | 635851 7776359 | 7.2 | 1244 |
| Rola Moça/Quartzite | Q1 | 601606 7780113 | 14.5 | 1300 |
| Água Limpa/Quartzite | Q2 | 608722 7751696 | 22.6 | 1360 |
| Moeda/ Quartzite | Q3 | 608800 7756785 | 16.8 | 1470 |

Intense floristic surveys of two focal families throughout the whole extension of the outcrops were performed between 2005 and 2012. Voucher specimens are deposited in the herbarium of the Federal University of Minas Gerais (BHCB) and nomenclature of species follows the List of Species of Flora of Brazil (2014). For each family, the alpha (local) diversity was obtained from the species list. These “island lists” (*sensu* Gotelli, 2000) represent fundamental units of investigation in community ecology and were used for construction of presence/absence matrix. The data set was used for preliminary analysis of co-occurrence patterns (Götzenberger et al., 2012). The C-score index (Stone & Robert, 1990) was used to test whether the distribution of observed species co-occurrence was significantly different from that expected from a null model. The C-score was calculated for each pair of species as:

$$(R_i - S)(R_j - S)$$

where R_i and R_j are the row totals for species i and j , and S represents the number of sites in which both species co-occur.

We used EcoSim 7.0 software to perform 5000 iterations, and the null model algorithm adopted maintains fixed row and fixed column sums matrices and randomizes the pattern of co-occurrence (Gotelli & Entsminger, 2001). This algorithm, when used with the C-score, is not vulnerable to false positives and is powerful at detecting patterns in noisy data (Gotelli, 2000). In nonrandom patterns in species co-occurrence matrices, the observed C-score has to be larger than the simulated one ($p < 0.05$). A standardized effect size –SES– was also used to assess the direction and degree of deviation from the null model. SES values below -2.0 or above 2.0 indicate statistical significance at the 5% error level (Ulrich & Gotelli, 2007). This metric was calculated as Gotelli & Entsminger (2001):

$$\text{observed index} - \text{mean (simulated indices)} / \text{standard deviation (simulated indices)}$$

To investigate the relation between outcrop area and species richness of Asteraceae and Poaceae four models were evaluated: linear, exponential, logarithmic, and geometric. These models were evaluated using the BioEstat 5.3 statistical package (Ayres et al. 2007). A cluster analysis based on the Jaccard index and UPGMA clustering criterion was used to investigate the similarities among outcrops using the software PAST 3.0 (Hammer *et al.*, 2001). Previously, species that occurred in only one outcrops were removed to reduce the data set noise (McCune & Grace, 2002).

The geographical distances among outcrops, measured in a straight line, were calculated using software *Google Earth Pro*. The Mantel test was used to investigate correlations between species (Jaccard distance) and geographical (Euclidean distance)

matrices using the PC-ORD 6.0 (McCune & Mefford, 2011). The strength of association between two matrices as indicated by standardized Mantel statistics (r), McCune, B. & Grace (2002), and p-value was estimated from Monte Carlo method.

Each outcrop was divided into five strips, which were surveyed to collect five samples of soil (< 15 cm depth). The particle size (sand, silt, and clay) was determined in the < 2 mm fraction. Eighteen chemical variables were used for analyses of fertility, including pH (in H₂O, 1:2.5 solution/solute), macro and micro-nutrients (Mehlich 1 extractor and KCl 1 mol/l), base saturation, aluminum saturation, organic carbon, nitrogen, effective cation exchange capacity, and sum of bases. Two samples of soil per outcrop were used to quantify the trace elements As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, and Zn. The concentration of these heavy metals and metalloids was determined by ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry). The permutational multivariate analysis of variance PerMANOVA based on Bray-Curtis distances was used to test for significant difference in the soil physico-chemical and trace elements characteristics between outcrops. The significance of the test was evaluated with 10 000 permutations performed by PC-ORD 6.0 (McCune & Mefford, 2011).

Two cluster analyses, based on the Bray-Curtis index and the UPGMA criterion, were used to investigate the similarities among soil samples using PAST 3.0 (Hammer *et al.*, 2001). For the physical and chemical variables, a rescaling was applied through relativization by maximum, according to the equation (McCune & Grace, 2002):

$$b_{ij} = x_{ij}/x_{\max_j}$$

where row i represent samples, columns j are soil variables, and the largest value for soil variables is x_{\max_j} .

After eliminating some redundancies, a correlation matrix was constructed from 10 physical and chemical variables, and was analyzed by principal component analysis using PAST 3.0 statistical package (Hammer *et al.*, 2001). A variance-covariance matrix was used to analyse trace elements. Determining the correct number of principal components (non-trivial components) is a fundamental step to interpret multivariate data, so as to avoid the loss of relevant information, in case of an underestimation, as well as noise increase, in case of overestimation (see Peres-Neto *et al.*, 2005). Therefore, we adopted approaches based on average values, assessing whether an observed test statistic based on eigenvalues is larger than the average value expected under the null hypothesis of no association between variables (Peres-Neto *et al.*, 2005). In this approach the confidence intervals of the eigenvalues located under an eigenvalue expected from a broken-stick (null) model will indicate the non-significant components, and therefore non-interpretable (see Jackson, 2003). The scree plot

was constructed using PAST 3.0 and confidence intervals (95%) were estimated from 1 000 permutations.

Peres-Neto *et al.* (2003) state that: “Once the number of eigenvalues is established, the interpretation of the relative contribution of variables to each ordination axis is rarely questioned.” We therefore tested whether the eigenvectors (loadings) differed significantly from zero or from sources of random variation. Therefore, we adopting method described by these authors, which consists of five steps involved in the broken-stick criterion for assessing eigenvector significance in principal component analysis (Annex 1).

Results

Asteraceae and Poaceae species composition

The complete plant list consisted of 242 species and 82 genera, of which 151 species and 54 genera of Asteraceae, and 91 species and 28 genera of Poaceae. The largest genera in Asteraceae were *Baccharis* (15), *Mikania* (13), *Chromolaena* (11), *Lessingianthus* (10), and *Lepidaploa* (06), and in Poaceae *Paspalum* (17), *Axonopus* (09), *Panicum* (08), *Andropogon* (07), and *Aristida* (06). Excluding the single occurrences, 12 exclusive genera were found in canga outcrops: *Acritopappus*, *Barrosoa*, *Conyza*, *Hoehnephytum*, *Hololepis*, *Koanophyllon*, *Lucilia*, *Piptocarpha*, *Verbesina*, and *Vernonanthura* (Asteraceae), and *Chusquea* and *Parodiophyllochloa* (Poaceae). In quartzites, *Echinocoryne* (Asteraceae) was the only exclusive genus and *Aldama* (Asteraceae) in granitoids. The total species in each outcrop (Annex 2) varied from 48 (Q1) to 81 (C3 and C5), Annex 2.

Species number in Asteraceae was correlated with outcrop area. The increase in outcrops area (Fig. 1) in four models, and the coefficient of determination explained more than 48% of the variance. Among the models (Annex 3), the best fit was the exponential (r^2 0.59; p 0.009). On the other hand, none of the four models showed significant correlation between outcrop area and species richness in Poaceae ($r^2 < 0.037$; $p > 0.591$).

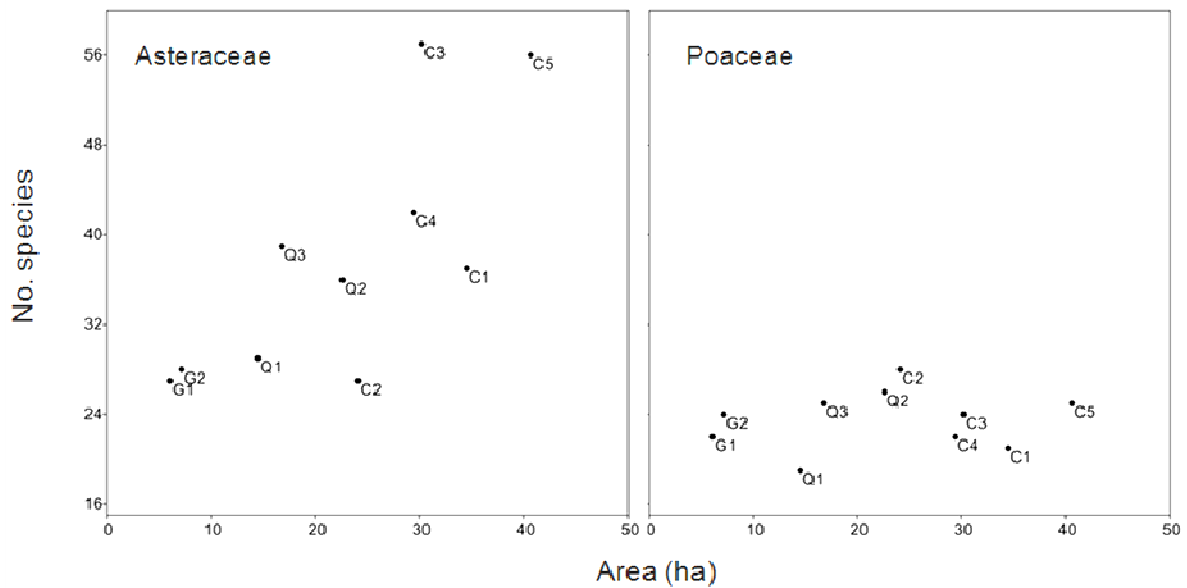


Figure 1 - Relationship between species richness and area of 10 outcrops, Iron Quadrangle. For Asteraceae: $R^2 = 0.59$ (exponential model). For Poaceae: $R^2 < 0.037$. C: cangas; G: granitoids; Q: quartzites. For site codes see Tab. 1.

The C-scores in Asteraceae and Poaceae were greater than the simulated values (Tab. 2), indicating a non-random pattern in the observed co-occurrence matrices. Gotelli and Entsminger (2001) comment that if the null hypothesis is rejected, other viable hypotheses – besides competition- should be considered. One of these hypotheses, known as "habitat checkerboards", predicts patterns in which species are associated with different abiotic conditions of the sites, which leads to less co-occurrence than expected by chance. In our study, both families exhibit patterns that may indicate affinities to specific soil/substrate types, leading to non-overlapping habitats (see Tab. 3 and Fig. 3).

Table 2 – Results of null models (5000 iterations) analysis of co-occurrence patterns. SES: standardized effect size.

| | C-score (observed) | N° of times observed > simulated | p | SES |
|------------|-----------------------|-------------------------------------|--------|-------|
| Asteraceae | 2.356 | 4928 | 0.014 | 2.474 |
| Poaceae | 2.564 | 4998 | 0.0004 | 4.309 |

Only 13 Asteraceae and 11 Poaceae were considered generalists, i.e. they occurred in at least one outcrop of each lithotype. Of these, only *Baccharis serrulata*, *Dasyphyllum sprengelianum* and *Axonopus siccus* were found in all outcrops. On the other hand, 68 species of Asteraceae (45%) and 36 of Poaceae (40%) were found in only one outcrop (Fig. 2 and Annex 2). The percentage of single occurrences in cangas (45%) was higher than in quartzites (34%) and granitoids (21%). The percentage of single occurrences per outcrop by Asteraceae was: cangas 4% to 19%, quartzites 6% to 13%, and granitoids 7% and 8%. And with regards to grasses, the number of single occurrences was: cangas 3% to 11%, quartzites 5% to 17%, and granitoids had 11% and 19% of singletons.

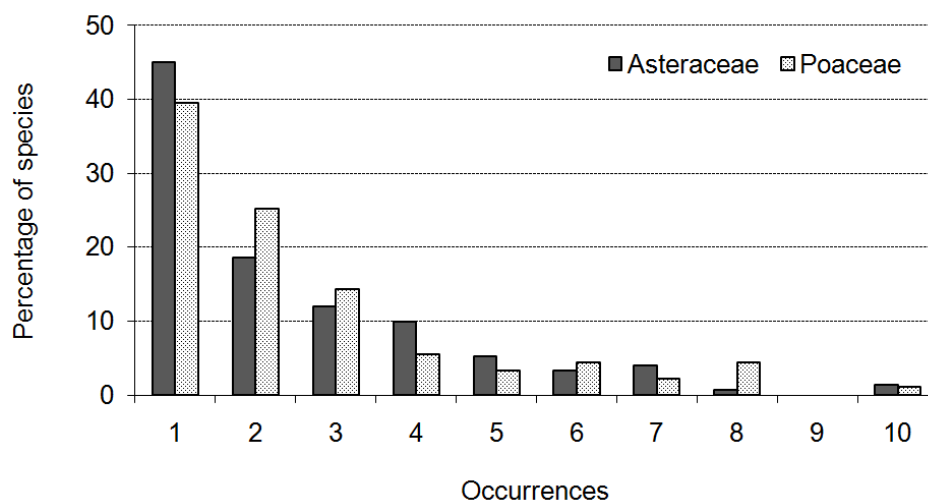


Figure 2 - Proportion of number of occurrences of Asteraceae (151 species) and Poaceae (91 species) in 10 outcrops from the Iron Quadrangle.

Apart from the single occurrences, exclusive species of Asteraceae were more common in cangas than the two silicate rock types together (Tab. 3). Three species are remarkable because of their exclusive occurrence in surveyed canga outcrops: *Hololepis pedunculata*, *Lychnophora syncephala*, and *Senecio linearilobus*, this last one rare in Minas Gerais but occurs in Paraná state, south Brazil (Teles, 2008). Another species that in Minas Gerais has been reported only in cangas but it is not endemic of the state was *Barrosoa organensis*. This Asteraceae is also found in other Brazilian rock systems in the states of Bahia, Espírito Santo, and Rio de Janeiro (Ferreira, 2010). The exclusive Poaceae species occurred in similar numbers in all outcrop types (Tab. 3). In quartzites, exclusive species were five Asteraceae and five Poaceae. Only two Asteraceae and two Poaceae species were exclusive of granitoids.

Table 3 - Asteraceae and Poaceae species occurring exclusively in iron oxy-hydroxides cangas or silicates (Granitoids + Quartzites) rock types from the Iron Quadrangle. Numbers of species per rock type are indicated in brackets.

| Occurrences/ Asteraceae | Cangas (n=22) | Granitoids + Quartzites (n=12) |
|----------------------------|---|--|
| 5 | <i>Hololepis pedunculata</i> | |
| 4 | <i>Baccharis platypoda</i> , <i>Vernonanthura polyanthes</i> | <i>Richterago radiata</i> |
| 3 | <i>Acritopappus</i> sp., <i>Barrosoa organensis</i> , <i>Chaptalia nutans</i> , <i>Hoehnephytum trixoides</i> , <i>Mikania lasiandrae</i> , <i>Senecio linearilobus</i> | <i>Echinocoryne holosericea</i> , <i>Mikania glauca</i> , <i>Trichogonia salviifolia</i> , <i>Trixis glutinosa</i> |
| 2 | <i>Baccharis lychnophora</i> , <i>Bidens bralisiensis</i> , <i>Conyza boraniensis</i> , <i>Erechtites valerianifolius</i> , <i>Lepidaploa</i> sp., <i>Lessingianthus</i> aff. <i>psylophyllus</i> , <i>L. roseus</i> , <i>Lucilia lycopodioides</i> , <i>Mikania cordifolia</i> , <i>Piptocarpha axillaris</i> , <i>Stenophalium gardneri</i> , <i>Symphiopappus</i> sp. nv., <i>Verbessina claussemi</i> | <i>Aldama robusta</i> , <i>Chromolaena decumbens</i> , <i>Heterocondylus pumilus</i> , <i>Lepidaploa vauthieriana</i> , <i>Lessingianthus buddleiifolius</i> , <i>L. rosmarinifolius</i> , <i>Mikania leiolaena</i> , |
| Occurrences/ Poaceae | Cangas (n=15) | Granitoids + Quartzites (n=13) |
| 4 | <i>Paspalum brachytrichum</i> | <i>Aristida capillacea</i> |
| 3 | <i>Ocellochloa rudis</i> , <i>Paspalum erianthum</i> , | <i>Aristida torta</i> , <i>Dichantherium sabulorum</i> , <i>Panicum cyanescens</i> , <i>Trachypogon spicatus</i> |
| 2 | <i>Apochloa molinioides</i> , <i>A. poliophylla</i> , <i>Chusquea attenuata</i> , <i>Melinis repens</i> , <i>Panicum</i> cf. <i>subulatum</i> , <i>Panicum</i> sp., <i>Parodiophyllochloa ovulifera</i> , <i>P. pantricha</i> , <i>Paspalum carinatum</i> , <i>P. convexum</i> , <i>P. cultratum</i> , <i>Schizachyrium</i> aff. <i>tenerum</i> | <i>Andropogon</i> sp., <i>Axonopus chrysoblepharis</i> , <i>A. fastigiatus</i> , <i>A. pressus</i> , <i>Ichnanthus longiglumis</i> , <i>Paspalum</i> aff. <i>scalare</i> , <i>Paspalum eucomum</i> , <i>Schizachyrium sanguineum</i> |

The analysis of floristic similarity of each family pointed to high beta diversity and more affinity among rock types than sites (Fig. 3). In Asteraceae, the granitoids formed a separate group from quartzites and cangas. In Poaceae, the cangas formed a separate group from granitoids and quartzites. In the groups formed by the same lithotype, each family showed variations in similarity values. For example, all five canga outcrops were joined at approximately 30% similarity (Jaccard index) regarding Asteraceae, and 25% regarding Poaceae. The granitoids joined at approximately 52% similarity regarding Asteraceae, and 42% regarding Poaceae. The similarity between granitoid and all other rock types was less

than 20% in Asteraceae. In Poaceae, the similarity between silicate rock types (Granitoids + Quartzites) was 25%.

Liner distances in straight line that connect each of three sites ranged from 24 to 39 km. Among intra-site outcrops the distances were between 0.8 and 6 km (Annex 4). The Mantel test did not show associations between species matrices of Asteraceae (r 0.137; p 0.173) or Poaceae (r 0.245; p 0.078) and the geographical matrix.

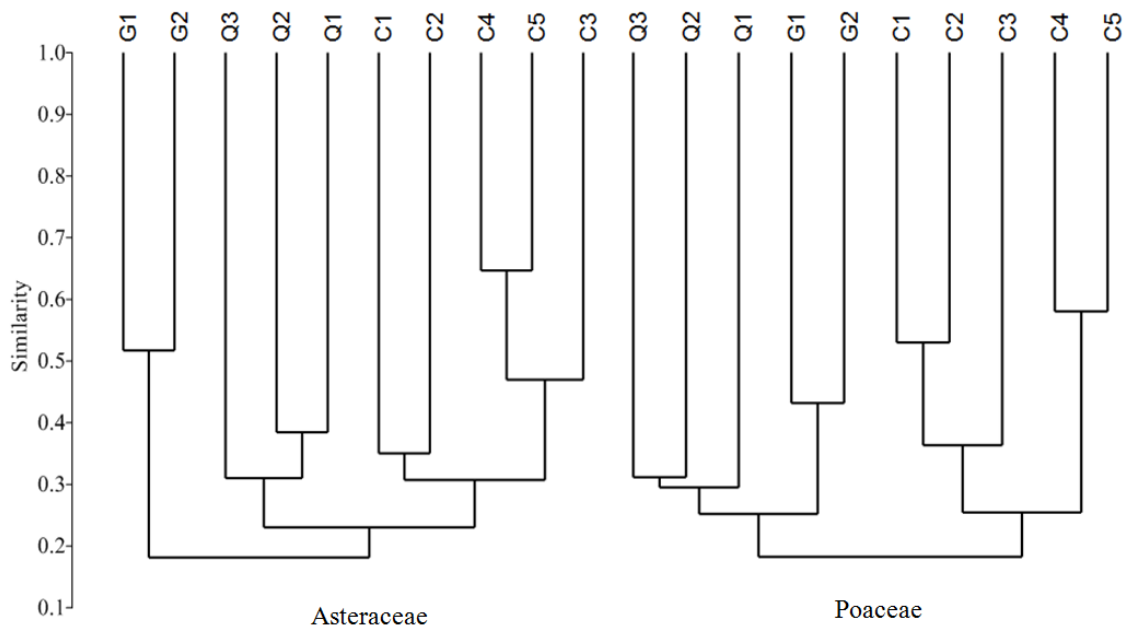


Figure 3 - Cluster analysis of 10 outcrops from the Iron Quadrangle based on the Asteraceae species ($n=83$; cophenetic correlation coefficient = 0.928) and Poaceae species ($n=55$; cophenetic correlation coefficient = 0.835). Dendrogram used UPGMA and the Jaccard similarity index. C: cangas; G: granitoids; Q: quartzites. For site codes see Tab. 1.

Soil

The soils of all outcrops can be classified as strongly acid and have very low level of fertility, with very low mean values of phosphorus and base saturation index, and low concentration of organic carbon. Annex 5 shows a summary of texture class and reference values for some soil chemicals variables. The aluminum saturation index (m) reached extreme values for granitoids ($>85\%$) and very high for quartzites. In canga soils, values were relatively small (29-48%), although still within the limits considered high for soil fertility in tropical regions. Fe and Mn concentrations were high in all samples, especially in canga soils, with mean values two (Mn) to three (Fe) times higher than silicate soils. High to medium N

values were found in cangas and granitoids, while N concentration in quartzites was low. The soil of all outcrops was characterized by low organic carbon, although values for granitoids and quartzites were about four times lower than those in canga soils (Tab. 4; Annex 5).

Table 4 - Soil physico-chemical characteristics (mean, n=5 for each outcrop) in 10 rock outcrops from the Iron Quadrangle. SB: sum of bases; CEC: effective cation exchange capacity; V: base saturation index; m: aluminum saturation index. For site codes see Tab. 1.

| | CI | C2 | C3 | C4 | C5 | G1 | G2 | Q1 | Q2 | Q3 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| Sand (%) | 40,4 | 49,6 | 64,0 | 42,0 | 48,5 | 72,6 | 72,0 | 61,4 | 74,4 | 74,0 |
| Silt (%) | 26,8 | 22,4 | 17,6 | 28,0 | 26,0 | 13,0 | 13,6 | 26,0 | 20,4 | 19,2 |
| Clay (%) | 32,8 | 28,0 | 18,4 | 30,0 | 25,5 | 14,4 | 14,4 | 12,6 | 5,2 | 6,8 |
| pH | 4,6 | 4,3 | 4,7 | 4,4 | 4,3 | 4,8 | 4,8 | 4,5 | 4,4 | 4,3 |
| P (mg/dm ³) | 2,9 | 4,4 | 2,4 | 2,9 | 3,3 | 2,1 | 4,0 | 2,8 | 3,4 | 2,9 |
| K (mg/dm ³) | 45,2 | 53,6 | 42,0 | 42,2 | 42,3 | 31,4 | 33,8 | 23,0 | 15,0 | 17,2 |
| Na (mg/dm ³) | 5,1 | 3,4 | 7,1 | 1,6 | 2,9 | 4,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 |
| Fe (mg/dm ³) | 390,6 | 432,6 | 232,4 | 278,8 | 397,6 | 134,7 | 111,7 | 65,5 | 63,7 | 85,4 |
| Mn (mg/dm ³) | 38,1 | 17,5 | 42,2 | 54,7 | 25,8 | 11,2 | 25,4 | 15,0 | 8,0 | 7,9 |
| Ca ²⁺ (cmolc/dm ³) | 2,2 | 1,4 | 0,9 | 1,4 | 0,8 | 0,1 | 0,0 | 0,4 | 0,4 | 0,2 |
| Mg ²⁺ (cmolc/dm ³) | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 |
| Al ³⁺ (cmolc/dm ³) | 0,9 | 1,5 | 0,6 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,1 | 1,3 | 0,8 | 1,2 |
| SB (cmolc/dm ³) | 2,4 | 1,5 | 1,2 | 1,8 | 1,1 | 0,2 | 0,1 | 0,4 | 0,5 | 0,4 |
| CEC (cmolc/dm ³) | 3,3 | 2,9 | 2,0 | 2,8 | 2,1 | 1,2 | 1,3 | 1,7 | 1,3 | 1,6 |
| V (%) | 10,5 | 6,3 | 9,1 | 8,5 | 6,3 | 2,8 | 1,7 | 5,4 | 8,0 | 5,2 |
| m (%) | 28,7 | 48,4 | 32,4 | 36,4 | 48,2 | 85,5 | 90,4 | 76,4 | 60,6 | 78,6 |
| C (dag/kg) | 14,7 | 13,8 | 4,56 | 12,2 | 12,4 | 3,2 | 4,3 | 3,3 | 2,6 | 2,8 |
| N (dag/kg) | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |

Concentrations of trace elements Cd, Co, Cu, Ni, Pb and Se in the soil samples were very low, some of them below the minimum detection limit of the ICP-OES method (Tab. 5). Cr and Zn concentrations were within the limits considered normal for Brazilian uncontaminated soils, or non-mineralized areas. These limits are between 19-65 ppm for Cr and 06-79 ppm for Zn (Fadigas *et al.*, 2006). These low concentrations may be mainly related to the natural chemical poverty of the parent materials and with intense weathering processes acting on this system for millions of years (Benites *et al.*, 2007; Salgado *et al.* 2008). The

majority of samples had As concentrations within the mean natural limits for uncontaminated soils (worldwide), which are within 0.1-50 ppm (Mandal & Suzuki, 2002). The exception was outcrop G2, in which As concentrations ranged from 82 to 107 ppm. These values may be associated with the presence of rare minerals, such as arite. In rocks of gnaissic origin (granitoids) from the IQ, anomalous concentrations of As (> 350 ppm) were associated with the presence of this mineral, probably formed from pentlandite, whose mineralization is associated with quartz-feldspar hydrothermal veins (Dardenne & Schobbenhaus, 2003; Fonseca & Evangelista, 2013).

Table 5 - Trace elements (ppm) in soil samples in 10 rock outcrops from the Iron Quadrangle. Values of minimum detection limit of the ICP-OES method are indicated in brackets. For site codes see Tab. 1.

| | As (10) | Cd (3) | Co (8) | Cr (3) | Cu (3) | Ni (3) | Pb (8) | Se (20) | Zn (3) |
|----|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| C1 | 48 | < 3 | < 8 | 34 | 12 | < 3 | 21 | < 20 | 36 |
| C1 | < 10 | < 3 | < 8 | 47 | 11 | < 3 | < 8 | < 20 | 5 |
| C2 | 12 | < 3 | < 8 | 39 | 12 | 5 | < 8 | < 20 | 15 |
| C2 | < 10 | < 3 | < 8 | 44 | 13 | < 3 | < 8 | < 20 | 15 |
| C3 | 51 | < 3 | < 8 | 32 | < 3 | < 3 | < 8 | < 20 | < 3 |
| C3 | 33 | < 3 | < 8 | 37 | < 3 | 4 | < 8 | < 20 | < 3 |
| C4 | 24 | < 3 | < 8 | 19 | 10 | < 3 | 11 | < 20 | 13 |
| C4 | < 10 | < 3 | < 8 | 16 | 13 | < 3 | < 8 | < 20 | 12 |
| C5 | 44 | < 3 | < 8 | 38 | < 3 | < 3 | < 8 | < 20 | 5 |
| C5 | 34 | < 3 | < 8 | 44 | < 3 | < 3 | < 8 | < 20 | 6 |
| G1 | < 10 | < 3 | < 8 | 7 | 10 | 9 | 30 | < 20 | 32 |
| G1 | < 10 | < 3 | < 8 | 3 | 8 | 4 | 32 | < 20 | 44 |
| G2 | 107 | < 3 | < 8 | 12 | < 3 | < 3 | 10 | < 20 | 17 |
| G2 | 82 | < 3 | < 8 | 5 | < 3 | < 3 | 11 | < 20 | 15 |
| Q1 | 29 | < 3 | < 8 | 40 | 12 | 8 | 12 | < 20 | 24 |
| Q1 | < 10 | < 3 | < 8 | 19 | 11 | 8 | 13 | < 20 | 21 |
| Q2 | < 10 | < 3 | < 8 | 9 | < 3 | < 3 | < 8 | < 20 | < 3 |
| Q2 | 12 | < 3 | < 8 | 8 | < 3 | < 3 | < 8 | < 20 | < 3 |
| Q3 | < 10 | < 3 | < 8 | 14 | 8 | 8 | < 8 | < 20 | 14 |
| Q3 | < 10 | < 3 | < 8 | 5 | < 3 | < 3 | < 8 | < 20 | < 3 |

Soil texture in granitoids and quartzites was influenced by the sand fraction. These coarse-texture soils were classified in two groups: loamy sandy (Q2 and Q3) and sandy loam (G1, G2 and Q1). The textures of the canga soils were more influenced by the clay fraction, and were classified in four groups, ranging from clay loam to sandy loam (Tab. 4; Annex 5). In sandy soils associated with silicate rock systems predominate residual minerals resistant to intense lixiviation, such as quartz and feldspar (Alho *et al.* 2007) and these soils correspond to lithosols (i.e. litholic neosols), according to Benites *et al.* (2007). In canga soils, high levels of clay minerals rich in Fe predominate, such as hematite and goetite, both extremely resistant to processes of pedogenetic alterations, and these soils correspond to Lithoplastic Plinthosols (Schaefer *et al.* 2008).

Based on fertility variables, soil composition of the outcrops was significantly different (PerMANOVA $F = 15.8$; $p < 0.01$). The pairwise comparison among cangas indicated that only C3 differs from C1, C2 and C5. Soils in silicates rocks are different from those in cangas. Among silicates rocks, similarities were only found between G1-G2, G1-Q3 and Q2-Q3. For the soil composition of the outcrops based on trace elements, no differences ($p > 0.05$) were found in the pairwise comparison of the 10 outcrops (Tab. 6).

Table 6 - PerMANOVA for the soil comparisons (10.000 permutations) among the 10 outcrops, Iron Quadrangle. Lower diagonal: fertility variables. Upper diagonal: trace elements. Significant results ($p < 0.05$) are reported in bold. For site codes see Tab. 1.

| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | G1 | G2 | Q1 | Q2 | Q3 |
|----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|-------|
| C1 | - | 1 | 0.671 | 0.665 | 1 | 0.328 | 0.331 | 1 | 0.336 | 0.330 |
| C2 | 0.331 | - | 0.338 | 0.339 | 0.337 | 0.330 | 0.323 | 0.335 | 0.346 | 0.332 |
| C3 | 0.016 | 0.014 | - | 0.323 | 0.670 | 0.326 | 0.329 | 0.334 | 0.339 | 0.337 |
| C4 | 0.210 | 0.069 | 0.153 | - | 0.330 | 0.334 | 0.337 | 0.330 | 0.332 | 0.331 |
| C5 | 0.986 | 0.628 | 0.031 | 0.204 | - | 0.343 | 0.335 | 0.340 | 0.336 | 0.340 |
| G1 | 0.007 | 0.018 | 0.015 | 0.007 | 0.009 | - | 0.325 | 0.332 | 0.344 | 0.334 |
| G2 | 0.008 | 0.007 | 0.006 | 0.008 | 0.008 | 0.618 | - | 0.331 | 0.332 | 0.329 |
| Q1 | 0.008 | 0.008 | 0.009 | 0.009 | 0.009 | 0.009 | 0.008 | - | 0.340 | 0.327 |
| Q2 | 0.009 | 0.008 | 0.007 | 0.008 | 0.007 | 0.008 | 0.007 | 0.008 | - | 1 |
| Q3 | 0.007 | 0.008 | 0.008 | 0.007 | 0.008 | 0.135 | 0.044 | 0.008 | 0.104 | - |

The cluster analyses reflected the results of the PerMANOVA tests. The cluster of the fertility soil variables originated two large groups, joined by a similarity of 63%. The first group joined canga samples and one from the G1 outcrop at 76% similarity. The second was composed by soils originated from silicate rock; quartzite soils joined granitoids at 80% similarity and one G1 sample was joined at 73% similarity (Fig. 4). The cluster analysis of soil trace elements originated a large group formed by quartzites and cangas that, in spite of being geochemically very different, were joined at 72% of similarity. Granitoid G1, probably because of the largest values of Ni, Pb and Zn, joined this cluster at 63% similarity. G2 joined the rest at 60% similarity (Fig. 4).

Regarding soils fertility variables, only the first component had an eigenvalue larger than assumed by the broken-stick model and was retained for analysis. In the trace elements, principal components were considered non-significant, or non-interpretable, since the confidence intervals of all of them were located under the eigenvalues expected from a null model (Fig. 5).

The first principal component accounts for 50% of the variance in fertility. Eight variables exhibited significant association with this axis (Annex 1). Of these, five were strongly correlated to this component: clay (0.91), organic carbon (0.88), cation exchange capacity (0.83), aluminum saturation (-0.80), and iron (0.78); and three were moderately correlated: nitrogen (0.69), manganese (0.63) and base saturation (0.61). This principal component separated canga soil samples from those of silicate soils (Fig. 6).

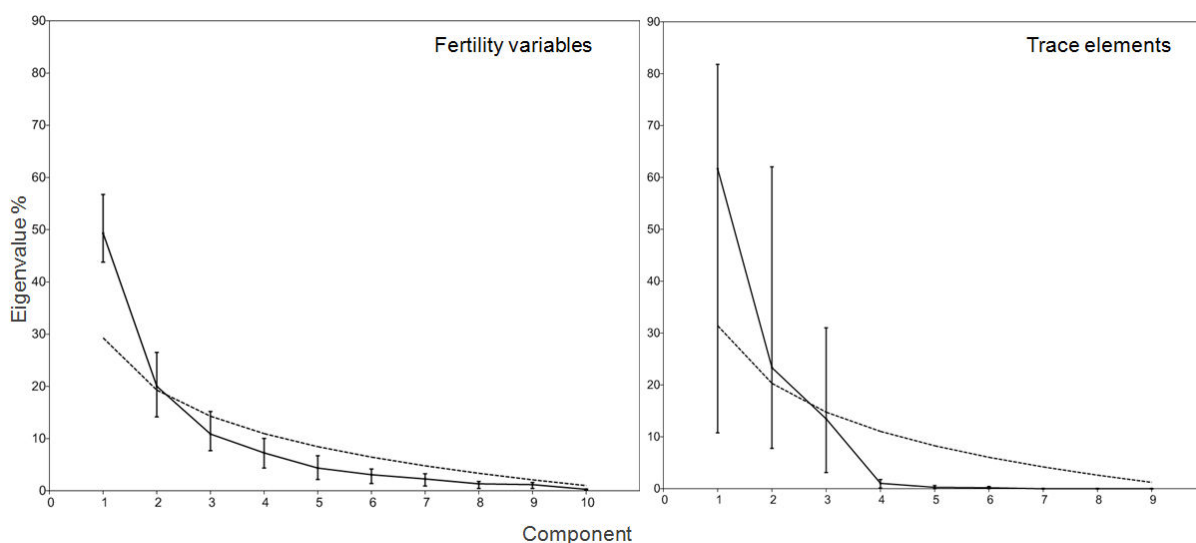


Figure 5 - Eigenvalues (95% CI) from principal component analysis based on soil fertility (10 variables) and trace elements (10 variables). Dotted line: eigenvalues expected from a broken-stick model.

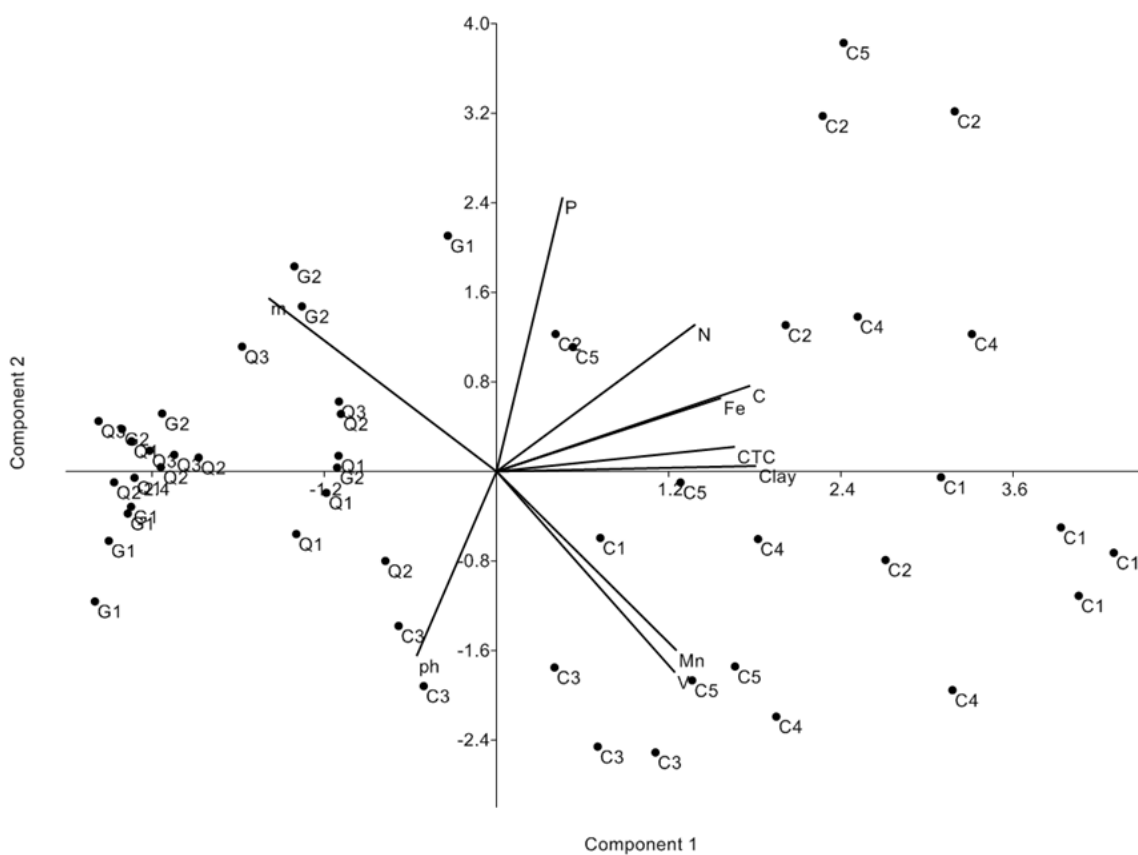


Figure 6 - Principal component analysis of the 10 soil fertility variables (n=50 samples) from 10 rock outcrops, Iron Quadrangle. C: cangas; G: granitoids; Q: quartzites. For site codes see Tab. 1.

Discussion

Marked differences were found among the soils physico-chemical constitution, separating those developed over cangas from those developed over silicate rocks. This distinction reflects a strong influence of their parental rock (Chesworth, 1973). With respect to the clay fraction and organic carbon, it is significant that cangas were the only ones with a high percentage, compared to silicate outcrops. Clay and organic carbon have an important role in soil properties (Novais & Mello, 2007). However, in the studied soils, the percentage of clay fraction and organic carbon should be interpreted within the context of dystrophic soils. Firstly, soils associated to rock systems in southeastern Brazil are very shallow and the major portion of organic matter occurs in humified form and, in this form, humic acids predominate. Therefore, the main portion of organic matter could be considered recalcitrant and, since humic acids are very reactive, organic matter plays an important role, significantly contributing to maintain the cation exchange capacity in the clays of natural low activity (Schaefer *et al.*, 2002; Benites *et al.*, 2005). In soils over cangas as well as silicate rocks the main colloids associated with the clay fraction are generally iron and aluminum. These elements do not contribute to the effective cation exchange capacity and in high concentration regarding chemical stress affecting plant growth (Snowden & Wheeler, 1993; Benites *et al.*, 2007; Schaefer *et al.*, 2012; Ronquin, 2010).

Álvares *et al.* (2005) adopted a maximum limit of 15% of base saturation as threshold level of aluminium toxicity index in soils affected by acidic deposition in various forest species in Galicia, Spain. In cerrado Brazilian soils, the high concentration of aluminum may be toxic to some plants, but this situation is known to positively influence the density and richness of herbaceous and graminoid vegetation in open cerrado physiognomies, where some scrub native species accumulate aluminum in their leaves (Haridasan, 1982; Ruggiero *et al.*, 2002; Amorim & Batalha, 2008). High aluminum saturation also characterizes soils developed in quartzite and granitoid rock systems in mountain ranges of eastern Brazil (Schaefer *et al.*, 2002; Benites *et al.*, 2005). According to the Álvares index, *a priori*, soils on quartzites in our study and, particularly, on granitoids can present aluminum toxicity. This element appeared in higher amounts on granitoids and quartzites, and the similarity with Cerrado soils may be correlated with the establishment of Asteraceae and Poaceae species commonly found in open physiognomies. Examples of Asteraceae species for this situation are *Calea fruticosa*, *Chromolaena chaseae*, *Lepidaploa rufogrisea*, *Lessingianthus buddleiifolius*, *Trixis glutinosa*, and *Aldama robusta*. Examples of Poaceae are *Paspalum*

carinatum, *P. erianthum*, *P. convexum* and *Schizachyrium tenerum* Nees (Judziewicz, 1990; Denham *et al.*, 2002).

High concentration of iron in soil can be toxic for some plant species and the main mechanism involved is the inability to prevent uptake of reduced iron (Fe^{+2}) by oxidative precipitation (Snoden & Wheeler, 1993). In Brazil, some preliminary studies indicated the possibility that canga plants bioaccumulate iron (Porto & Silva, 1989; Teixeira & Lemos, 1998). Species that are endemic to canga outcrops, such as the Poaceae *Paspalum brachytrichum* (Viana, 2012) and Asteraceae *Symphopappus* sp. nv. (Teles & Hattori, 2012), or species that occur frequently in these outcrops (see tab. 2 and Annex 2 for examples), may be considered iron-tolerants and are classified as metallophytes (*sensu* Whiting *et al.*, 2004), because they occur both in soils with high metal concentrations as well as non-metallic soils. These species with frequent occurrence in cangas form a group where genetic differentiation may be induced by soil chemical stress factors. In southeast Brazil, Borba *et al.* (2001) observed that some populations of *Acianthera teres* (Orchidaceae) on cangas diverged genetically from populations established on quartzite and granite outcrops.

Metal toxicity thresholds research in native plant, non-agricultural species, is still poorly developed. Ross and Kaye (1994) argue that establishing metal toxicity thresholds for plants is very complex and it is important to consider the interaction of several variables, such as metal type and concentration, exposure route, spatio-temporal distribution, and the type and severity of the injury. In Brazil, no conclusive studies have been published on this issue, like those available based on experiments of shoot:root dry weight ratio (Snowden & Wheeler, 1993; Paschke *et al.*, 2005). Even so, the high concentrations of Al, Fe and Mn found in IQ lithosols (Carvalho-Filho *et al.*, 2010) may stimulate the development of scientific research on bioaccumulation of toxic elements.

Some studies performed in the IQ indicate that the heavy metals Cu, Mg, Pb and Zn are the main variables associated with ordination gradients of the vegetation and soils developed on cangas and quartzites (Vincent & Meguro, 2008; Messias *et al.*, 2012b). However, we did not find significant distinctions based on soil trace elements. The cause of this discrepancy may be our use of analytical tools to assess the component and eigenvector significance, which provides a more rigorous analysis in ordination methods (Peres-Neto *et al.*, 2003).

The absence of species-area relation in Poaceae may be attributed to at least two factors: the spatial heterogeneity and the growth form, or functional types of the species. Comparing the spatial heterogeneity among cangas, quartzites and granitoids, measured by

their topographic roughness, Carmo *et al.* (subject) identified a strong association between fine-scale variations of rock surface and variations in important plant community parameters such as richness, abundance, and total plant cover. Granitoids were classified as smooth outcrops, because of their less heterogeneous surfaces in many cases; cangas had the most heterogeneous surfaces, and were classified as coarse outcrops. Between these extremes, the relative covers of graminoids decreases and that of sclerophytes (herbs, shrubs and subshrubs) increases. Therefore, the similar species richness values of Poaceae found, independently of the absolute area of each outcrop, may be caused by the limited availability of adequate substrate for establishment of graminoid species.

In both Poaceae and Asteraceae the low species similarity among the three types of outcrop was remarkable. Higher similarity values were not correlated with geographical proximity among outcrops, indicating no significant spatial structuring influencing species composition. Therefore, this pattern could be associated with deterministic factors, in which the observed clusters in species composition reflected an edaphic gradient. In fact, the similarity patterns in Poaceae matched those of the soils in the 10 outcrops. In Asteraceae, there were some differences, because of the floristic segregation of granitoids. This pattern may be correlated to a stronger floristic influence of the Cerrado phytogeographic domain, in which this family is especially important in the herbaceous-shrub stratum (Rizzini, 1979; Amorim & Batalha, 2008). Some chemical characteristics of the soils were quite similar to those of Cerrado soils, mainly aluminum saturation. Another factor that probably influenced the distinction of granitoids is, again, their simpler microtopographical heterogeneity, in which smoother surfaces may result in less substrate availability for the establishment of sclerophyllous shrubs (Carmo *et al.*, subject). This scenario suggests that assembly rules governed by edaphic filters which select species from the regional species pool to determine the local community composition (Götzenberger *et al.*, 2012). These patterns are similar to those predicted by the habitat checkerboards co-occurrence model (Gotelli & McCabe, 2002).

The selected soil fertility variables integrated set was an important edaphic property and as revealed by its contribution of 50% in the first axis of the PCA. However the Asteraceae species showed no clear patterns in response to soil fertility and concentrations of trace elements. An important step to complement our understanding of patterns of diversity and structure in plant community rock outcrops is to include edaphic factors related to the physical and spatial components as variables in species distribution models (Dubuis *et al.*, 2013). The three-dimensional topography determines the spatial distribution of soil properties in rock systems like depth, water storage capacity, and drainage and, in turn, the heterogeneity

of soil attributes influences plant communities structure (Hugget, 1995; Kuntz & Larson, 2006; Medina *et al.*, 2006; Schaefer *et al.*, 2012; Messias *et al.*, 2013).

Acknowledgments

The Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), the Minas Gerais State Research Foundation (FAPEMIG) and US Fish and Wildlife Service provided financial support. We thank the State Forestry Institute of Minas Gerais (IEF-MG) for granting the collection licenses, and special thanks are due to taxonomist Eric K.O. Hattori.

References

- Alho, D.R., Júnior, J.M. & Campos, M.C.C. 2007. Caracterização física, química e mineralógica de Neossolos Litólicos de diferentes materiais de origem. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 2: 177-122.
- Álvarez, E., Fernandes-Marcos, M.L.; Monterroso, C. & Fernandez-Sanjurjo. 2005. Application of aluminum toxicity indices to soils under various Forest species. *Forest Ecology and Management*, 211: 227-239.
- Alvarez, N., Thiel-Egenter, C., Tribsch, A., Holderegger, R., Manel, S., Schonswetter, P., Taberlet, P., Brodbeck, S., Gaudeul, M., Gielly, L., Kupfer, P., Mansion, G., Negrini, R., Paun, O., Pellicchia, M., Rioux, D., Schupfer, F., Van Loo, M., Winkler, M. & Gugerli, F. 2009. History or ecology? Substrate type as a major driver of spatial genetic structure in Alpine plants. *Ecology Letters*, 12: 632–640.
- Amorim, P.K. & Batalha, M.A. 2008. Soil chemical factors and grassland species density in Emas National Park (central Brazil). *Braz. J. Biol.*, 68(2):279-285.
- Ayres, M., Ayres Júnior, M., Ayres, D.L. & Santos, A.A. 2007. BioEstat 5.3. Instituto Mamirauá. Tefé, AM.
- Benites, V.M., Mendonça, E.S., Novotny, E.H., Reis, E.L., Schaefer, C.E.G.R. & Ker, J.C. 2005. Properties of black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil. *Geoderma*, 127: 104–113.
- Benites, V.M., Schaefer, C.E.G.R., Simas, F.N.B. & Santos, H.G. 2007. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. *Revista Brasileira de Botânica*, 30: 569-577.

- Borba, E.L., Felix, J.M., Solferini, V.N. & Semir, J. 2001. Fly-pollinated *Pleurothallis* (Orchidaceae) species have high genetic variability: evidence from isozym markers. *American Journal of Botany*, 88: 419-428.
- Boyd, R.S. 2004. Ecology of metal hyperaccumulation. *New Phytologist*, 162: 563–567.
- Butcher, P.A., McNee, S.A. & Krauss, S.L. 2009. Genetic impacts of habitat loss on the rare ironstone endemic *Tetradthea paynterae* subsp. *paynterae*. *Conserv Genet*, 10: 1735–1746.
- Caiafa, A.N. & A.F. Silva. 2007. Structural analysis of the vegetation on a highland granitic rock outcrop in Southeast Brazil. *Revista Brasil. Bot.*, 30: 657-664.
- Carmo, F.F. & Jacobi, C.M. 2012. Vascular plants on cangas. In Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Eds.) *Floristic Diversity of the Quadrilátero Ferrífero Cangas*. Ed. IDM, Belo Horizonte. 43-50.
- Carmo, F.F., Campos, I.C. & Jacobi, C.M. Effects of fine-scale surface heterogeneity on rock outcrop plant communities. *Journal of Vegetation Science*, subject.
- Carvalho-Filho, A.; Curi, N.; Shinzato, E. 2010. Relações solo-paisagem no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45: 903-906.
- Chesworth, W. 1973. The parent rock effect in the genesis of soil. *Geoderma*, 10: 215-225.
- Conceição, A.A. & Giulietti, A.M. 2002. Composição florística e aspectos estruturais de campo rupestre em dois platôs do Morro do Pai Inácio, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. *Hoehnea*, 29: 37-48.
- Dardene, M.A. & Schobbenhau, C. 2003. Depósitos Minerais no Tempo Geológico e Épocas Metalogenéticas. In: L. A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R. M. Vidotti e J. H. Gonçalves (eds.) *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. CPRM, Brasília, pp. 365-448.
- Denham, S., Zuloaga, F.O. & Morrone, O. 2002. Systematic revision and phylogeny of *Paspalum* subgenus *Ceresia* (Poaceae: Panicoideae: Paniceae). *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 89: 337-399.
- 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.
- Dubuis, A., Giovanettina, S., Pellissier, L., Pottier, J., Vittoz, P. & Guisan, A. 2013. Improving the prediction of plant species distribution and community composition by adding edaphic to topo-climatic variables. *Journal of Vegetation Science*, 24: 593–606.
- Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1999. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 412 p.

- Fadigas, F.S., Sobrinho, N.M.B., Mazur, N., Anjos, L.H.C. & Freixo, A.A. 2006. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10: 699-705.
- Fernandes, M.L.S. 2007. *Minerais Formadores de Rocha*. In: Sgarbi, G.N.C. (org.). Petrografia macroscópica das rochas ígneas, sedimentares e metamórficas. Ed. UFMG, Belo Horizonte. 559 p.
- Ferreira, S.C. 2010. Barrosoa. In: Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB026880>).
- Fiaschi, P. & Pirani, J.R. 2009. Review of plant biogeographic studies in Brazil. *Journal of Systematics and Evolution*, 47: 477-496.
- Filgueiras, T.S., Longhi-Wagner, H.M., Viana, P.L., Zanin, A., Oliveira, R.C. de, Cantow-Dorow, T.S., Shirasuna, R.T., Valls, J.F.M., Oliveira, R.P., Rodrigues, R.S., Santos-Gonçalves, A.P., Welker, C.A.D. & Ferreira, F.M. 2014. Poaceae. In Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB193>
- Fonseca, G.M. & Evangelista, H.J. 2013. Rochas ultramáficas plutônicas do greenstone belt Rio das Velhas na porção central do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Revista da Escola de Minas*, 66: 67-75.
- 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.
- Giulietti, A.M., Pirani, J.R. & Harley, R.M. 1997. Espinhaço Range region. In Davis S.D., Heywood V.H., Herrera-MacBryde O. & Villa-Lobos J. (eds.) *Centers of plant diversity. A guide and strategy for their conservation Vol. 3. The Americas*. National Museum of Natural History, Smithsonian Institution. Washington, p. 397-404.
- Gotelli, N.J. 2000. Null Model Analysis of Species Co-Occurrence Patterns. *Ecology*, 81: 2606–2621.
- Gotelli, N.J. & G.L. Entsminger. 2001. *EcoSim: Null models software for ecology*. Version 7.0. Acquired Intelligence Inc. & Keesy-Bear. <http://homepages.together.net/~gentsmin/ecosim.htm>
- Gotelli, N.J. & McCabe, D. J. 2002. Species co-occurrence: A meta-analysis of J. M. Diamond's assembly rules model. *Ecology*, 83: 2091–2096.
- Götzenberger, L., de Bello, F., Bråthen, K. A., Davison, J., Dubuis, A., Guisan, A., Lepš, J., Lindborg, R., Moora, M., Pärtel, M., Pellissier, L., Pottier, J., Vittoz, P., Zobel, K. &

- Zobel, M. 2012. Ecological assembly rules in plant communities—approaches, patterns and prospects. *Biological Reviews*, 87: 111–127.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1): 9pp.
- Haridasan, M. 1982. Aluminium accumulation by some cerrado native species of central Brazil. *Plant and Soil*, 65: 265–273.
- Hazelton, P. & Murphy, H. 2007. *Interpreting soil test results*. CSIRO Publishing, Collingwood. 152 p.
- Huggett, R.J. 1995. *Geoecology an evolutionary approach*. Routledge, London. 320 p.
- Jacobi, C.M.; Carmo, F.F. & Vincent, R.C. 2008. Phytosociological study of a plant community on ironstone as support for recovery of a mined area in the Iron Quadrangle, MG. *Revista Árvore*, 32: 345-353.
- Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. 2011. Life-forms, pollination and seed dispersal syndromes in plant communities on ironstone outcrops, SE Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, 25: 395-412. 2011.
- Jackson, D.A. 1993. Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. *Ecology* 74: 2204-2214.
- Judziewicz, E.J. 1990. Poaceae (Gramineae) In: *Flora of the Guianas*. A.R.A. Gorts-van-Rijn (ed.). Koeltz Scientific Books, Koenigstein, v.8.p.1-727.
- Kruckeberg, A.R. 2004. *Geology and Plant Life: The Effects of Landforms and Rock Types on Plants*. University of Washington Press. Seattles, USA. 363 p.
- Kuntz, K.L. & Larson, D.W. 2006. Microtopographic control of vascular plant, bryophyte and lichen communities on cliff faces. *Plant Ecology*, 185: 239-253.
- Lista de Espécies da Flora do Brasil. 2014. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>
- Mandal, B.K. & Suzuki, K.T. 2002. Arsenic around the world: a review. *Talanta*, 58:201:235.
- McCune, B. & Grace, J.B. 2002. *Analysis of Ecological Communities*. MjM, Gleneden Beach, OR.
- McCune, B. & Mefford, M.J. 2011. PC-ORD. *Multivariate Analysis of Ecological Data*. Version 6.0 MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.
- Medina, B.M.O.; Ribeiro, K.T. & Scarano, F.R. 2006. Plant-plant and plant-topography interactions on a rock outcrop at high altitude in southeastern Brazil. *Biotropica*, 38: 27-34.

- Messias, M.C.T.B., Leite, M.G.P., Meira-neto, J.A.A. & Kozovits, A.R. 2011. Life-form spectra of quartzite and itabirite rocky outcrop sites, Minas Gerais, Brazil. *Biota Neotrop.* 11: 255-268.
- Messias, M.C.T.B., Leite, M.G.P., Meira-Neto, J.A.A. & Kozovits, A.R. 2012. Fitossociologia de campos rupestres quartzíticos e ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Acta Botanica Brasilica*, 26: 230-242.
- Messias, M.C.T.B., Leite, M.G.P., Meira-Neto, J.A.A. & Kozovits, A.R. 2013. Soil-vegetation relationship in quartzite and ferruginous Brazilian rocky outcrops. *Folia Geobot.* 48:509-521.
- Mittermeier, R.A., Gil, P.R., Hoffman, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C.G., Lamoreux, J. & Fonseca, G.A.B. 2004. *Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*. CEMEX & Agrupación Sierra Madre, México.
- Nakajima, J.N. & Semir, J. 2001. Asteraceae no Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 24: 471-478.
- Nakajima, J., Loeuille, B., Heiden, G., Dematteis, M., Hattori, E.K.O., Magenta, M., Ritter, M.R., Mondin, C.A., Roque, N., Ferreira, S.C., Teles, A.M., Borges, R.A.X., Monge, M., Bringel Jr., J.B. A., Oliveira, C.T., Soares, P.N., Almeida, G., Schneider, A., Sancho, G., Saavedra, M.M., Liro, R.M., Souza-Buturi, F.O., Pereira, A.C.M. & Moraes, M.D. 2014. *Asteraceae*. In Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB55>
- Novais, F.N. & Mello, J.W.V. 2007. Relação Solo-Planta. In: Novais, R.F.; Alvarez, V.V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.B. (Eds.). 2007. *Fertilidade do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, MG. 133-204 p.
- Paschke, M.W., Valdecantos, A. & Redente, E.F. 2005. Manganese toxicity thresholds for restoration grass species. *Environmental Pollution*, 135: 313–322.
- Peres-Neto, P.R., Jackson, D.A. & Somers, K.M. 2003. Giving Meaningful Interpretation to Ordination Axes: Assessing Loading Significance in Principal Component Analysis. *Ecology*, 84: 2347–2363.
- Peres-Neto, P.R., Jackson, D.A. & Somers, K.M. 2005. How many principal components? stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited. *Computational Statistics & Data Analysis*, 49: 974 – 997.
- Porto, M.L. & Silva, M.F.F. 1989. Tipos de vegetação metalófila em áreas da Serra de Carajás e de Minas Gerais. *Acta Botanica Brasilica*, 3:13-21.

- Rajakaruna, N. 2004. The Edaphic Factor in the Origin of Plant Species. *International Geology Review*, 46: 471–478.
- Ribeiro, K.T. & Medina, B.M.O. 2002. Estrutura, dinâmica e biogeografia das ilhas de vegetação sobre rocha do Planalto do Itatiaia, RJ. *Bol. Parq. Nac. Itatiaia*, 10: 1-84.
- Rizzini, C. T. 1979. *Tratado de fitogeografia do Brasil*. Ed. da Universidade de São Paulo, v. 2, 374 p.
- Ronquim, C. C. 2010. *Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais*. Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas. 26 p.
- Ross, S.M. & Kaye, K.J. 1994. *The meaning of metal toxicity in soil-plant systems*. In: Ross, S.M. (Ed.), *The meaning of metal toxicity in soil-plant systems*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 27–61.
- Ruggiero, P.G.C., Batalha, M.A., Pivello, V.R. & Meirelles, S.T. 2002. Soil-vegetation relationships in cerrado (Brazilian savanna) and semideciduous forest, Southeastern Brazil. *Plant Ecology*, 160:1–16.
- Safford, H.D. & Martinelli, G. 1999. Southeast Brazil. In: Porembski, S. & Barthlott, W. (Eds.). 2000. *Inselbergs. Biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions*. Springer-Verlag, Berlin, 339-389 p.
- Salgado, A.A.R., Braucher, R., Varajão, C.A.C., Colin, F. & Júnior, H.A.N. 2008. Relief evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brazil) by means of (¹⁰Be) cosmogenic nuclei. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 52: 317-323.
- Schaefer, C.E.G.R., Ker, J.C., Gilkes, R., Campos, J.C.F., Costa, L.M. & Saadi, A. 2002. Pedogenesis on the uplands of the Diamantina Plateau, Minas Gerais, Brazil: a chemical and micropedological study. *Geoderma*, 107: 243–269.
- Schaefer, C.E.G.R.; Mendonça, B.A.F.; Ferreira, W.G.; Valente, E.L. & Corrêa, G.R. 2012. Relações solo-vegetação em alguns ambientes brasileiros: fatores edáficos e florística. In: Martins, S.V. (ed.) *Ecologia de florestas tropicais do Brasil*. 2. Ed. Viçosa, MG. Ed. UFV, 252-293.
- Snowden, R.E.D. & Wheeler, B.D. 1993. Iron toxicity to fen plant species. *Journal of Ecology*, 8: 35-46.
- Sousa, D.M.G. & Lobato, G. 2004. *Cerrado: correção do solo e adubação*. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 416 p.
- Stone, L., & Roberts, A. 1990. The checkerboard score and species distributions. *Oecologia*, 85: 74–79.

- Teixeira, W.A. & Lemos-Filho, J.P. 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.
- Teles, A.M. 2008. *Contribuição ao estudo da tribo Astereae no Brasil e Senecioneae (Asteraceae) no Estado de Minas Gerais*. Tese de Doutorado. Instituto de Ciências Biológicas. UFMG. Belo Horizonte.
- Teles, A.M. & Hattori, E.K.O. 2012. Asteraceae. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (orgs.) *Floristic Diversity of the Quadrilátero Ferrífero Cangas*, pp. 82-90. Ed. IDM, Belo Horizonte.
- Ulrich, W. & Gotelli, N. J. 2007. Null model analysis of species nestedness patterns. *Ecology*, 88: 1824-1831.
- Valentin, C. & Bresson, L.M. 1992. Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils. *Geoderma*, 55: 225-245.
- Viana, P.L. 2012. Poaceae. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (orgs.) *Floristic Diversity of the Quadrilátero Ferrífero Cangas*, pp. 172-178. Ed. IDM, Belo Horizonte.
- Viana, P.L. & Filgueiras, T.S. 2008. Inventário e distribuição geográfica das gramíneas (Poaceae) na Cadeia do Espinhaço, Brasil. *Megadiversidade*, 4(1-2):71-88.
- Vincent, R. C. & Meguro, M. 2008. Influence of soil properties on the abundance of plant species in ferruginous rocky soils vegetation, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, 31: 377-388.
- 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.

Annex 1. Five steps involved in the random model criterion for assessing significance of eigenvectors in principal component analysis (Peres-Neto *et al.*, 2003).

| Parameter | Component | | | | | | | | | |
|---|-----------|---------|----------|----------|------------|----------|-----------|-----------|------------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Step 1: obtain original eigenvectors | | | | | | | | | | |
| Clay | 0,9055 | 0,01576 | 0,2510 | -0,1483 | -0,1067 | -0,0217 | -0,0114 | 0,1729 | -0,2257 | 0,04361 |
| ph | -0,2786 | -0,5259 | 0,7315 | 0,00304 | 0,2235 | 0,2016 | 0,1242 | 0,0500 | 0,04595 | -0,01011 |
| P | 0,2304 | 0,7808 | -0,1243 | 0,3721 | 0,3888 | 0,1597 | -0,02713 | 0,07011 | -0,0305 | 0,008523 |
| V | 0,6223 | -0,5726 | -0,4414 | 0,0513 | 0,1562 | -0,0288 | 0,22680 | 0,01586 | 0,05387 | 0,08720 |
| m | -0,7950 | 0,4935 | 0,2674 | 0,00334 | -0,1704 | 0,0057 | -0,01107 | 0,01231 | 0,08824 | 0,12600 |
| C | 0,8844 | 0,2439 | 0,0994 | -0,2091 | 0,028 | -0,1459 | -0,05493 | 0,1724 | 0,2220 | -0,02528 |
| N | 0,6933 | 0,4187 | 0,3653 | 0,2738 | -0,0881 | -0,2192 | 0,24930 | -0,1315 | -0,00794 | -0,01894 |
| Fe | 0,7834 | 0,2092 | 0,1234 | -0,4721 | 0,2052 | 0,08586 | -0,09328 | -0,2124 | -0,00328 | 0,03263 |
| Mn | 0,6279 | -0,5100 | 0,2034 | 0,4552 | -0,0009 | -0,0859 | -0,2900 | -0,06002 | 0,03094 | 0,03308 |
| CEC | 0,8310 | 0,0700 | -0,0881 | 0,1195 | -0,3455 | 0,3963 | 0,03874 | -0,01948 | 0,06391 | -0,01106 |
| Step 2: square eigenvectors | | | | | | | | | | |
| Clay | 0,81993 | 0,00024 | 0,063001 | 0,021993 | 0,011384 | 0,000475 | 0,0001315 | 0,029894 | 0,050940 | 0,001902 |
| ph | 0,07761 | 0,27657 | 0,535092 | 9,24E-06 | 0,049952 | 0,040643 | 0,0154256 | 0,002500 | 0,0021114 | 0,000102 |
| P | 0,05308 | 0,60964 | 0,015450 | 0,138458 | 0,151165 | 0,025504 | 0,0007360 | 0,0049152 | 0,0009302 | 7,26E-05 |
| V | 0,38725 | 0,32787 | 0,194833 | 0,002632 | 0,024398 | 0,000831 | 0,0514382 | 0,0002510 | 0,0029019 | 0,007604 |
| m | 0,63202 | 0,24354 | 0,071502 | 1,12E-05 | 0,029036 | 3,34E-05 | 0,0001225 | 0,0001515 | 0,0077862 | 0,015876 |
| C | 0,78216 | 0,05948 | 0,009894 | 0,043723 | 0,000784 | 0,021287 | 0,0030175 | 0,0297217 | 0,0492840 | 0,000639 |
| N | 0,48066 | 0,17531 | 0,133444 | 0,074966 | 0,0077721 | 0,048049 | 0,0621504 | 0,0172922 | 6,3154E-05 | 0,000359 |
| Fe | 0,61371 | 0,04376 | 0,015227 | 0,222878 | 0,0421070 | 0,007372 | 0,0087011 | 0,0451137 | 1,0758E-05 | 0,001065 |
| Mn | 0,394251 | 0,26010 | 0,041371 | 0,207207 | 9,6359E-07 | 0,007394 | 0,0841000 | 0,0036024 | 0,0009572 | 0,001094 |
| CEC | 0,690561 | 0,00491 | 0,007763 | 0,014280 | 0,1193702 | 0,157054 | 0,0015007 | 0,0003797 | 0,0040844 | 0,000122 |
| Step 3: obtain expected values under broken-stick model | | | | | | | | | | |
| Expected values | 0,2920 | 0,1930 | 0,1430 | 0,1100 | 0,085 | 0,065 | - | - | - | - |

Continued Annex 1. Five steps involved in the random model criterion for assessing significance of eigenvectors in principal component analysis (Peres-Neto *et al.*, 2003). The components 7 to 10 are not show.

| Parameter | Component | | | | | |
|---|---------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Step 4: rank squared eigenvectors and assess their significance according to the broken-stick model | | | | | | |
| Clay | 0,819930 (1) | 0,063001 (3) | 0,050940 (6) | 0,029894 (7) | 0,021992 (4) | 0,011385 (5) |
| ph | 0,535092 (3) | 0,276571 (2) | 0,077617 (1) | 0,049952 (5) | 0,040642 (6) | 0,015426 (9) |
| P | 0,609648 (2) | 0,151165 (5) | 0,138458 (4) | 0,053084 (1) | 0,025504 (6) | 0,01545 (3) |
| V | 0,387257 (1) | 0,327871 (2) | 0,194833 (3) | 0,051438 (8) | 0,024398 (5) | 0,007604 (7) |
| m | 0,632025 (1) | 0,243542 (2) | 0,071502 (3) | 0,029036 (5) | 0,015876 (7) | 0,007786 (8) |
| C | 0,782163 (1) | 0,059487 (2) | 0,049284 (7) | 0,043723 (4) | 0,029721 (8) | 0,021287 (6) |
| N | 0,480664 (1) | 0,17531 (2) | 0,133444 (3) | 0,074966 (4) | 0,062150 (7) | 0,048049 (6) |
| Fe | 0,613715 (1) | 0,222878 (4) | 0,045113 (8) | 0,043765 (2) | 0,042107 (5) | 0,015228 (3) |
| Mn | 0,394258 (1) | 0,2601 (2) | 0,207207 (4) | 0,0841 (7) | 0,041371 (3) | 0,007394 (6) |
| CEC | 0,690561 (1) | 0,157054 (6) | 0,119370 (5) | 0,01428 (4) | 0,007763 (3) | 0,004913 (2) |
| Step 5: reorder eigenvectors according to their original axes | | | | | | |
| Clay | 0,9055 | 0,0157 | 0,251 | -0,1483 | -0,1067 | -0,0217 |
| ph | -0,2786 | -0,5259 | 0,7315 | 0,0030 | 0,2235 | 0,2016 |
| P | 0,2304 | 0,7808 | -0,1243 | 0,3721 | 0,3888 | 0,1597 |
| V | 0,6223 | -0,5726 | -0,4414 | 0,0513 | 0,1562 | -0,0288 |
| m | -0,795 | 0,4935 | 0,2674 | 0,0033 | -0,1704 | 0,0057 |
| C | 0,8844 | 0,2439 | 0,0994 | -0,2091 | 0,028 | -0,1459 |
| N | 0,6933 | 0,4187 | 0,3653 | 0,2738 | -0,0881 | -0,2192 |
| Fe | 0,7834 | 0,2092 | 0,1234 | -0,4721 | 0,2052 | 0,0858 |
| Mn | 0,6279 | -0,5100 | 0,2034 | 0,4552 | -0,0009 | -0,0859 |
| CEC | 0,8310 | 0,0700 | -0,0881 | 0,1195 | -0,3455 | 0,3963 |

Annex 2. Asteraceae and Poaceae species found in the 10 rock outcrops from the Iron Quadrangle. C: cangas; G: granitoids; Q: quartzites. For site codes see Tab. 1.

| Species | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | G1 | G2 | Q1 | Q2 | Q3 |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Asteraceae | | | | | | | | | | |
| <i>Achyrocline satureioides</i> (Lam.) DC. | x | | x | x | x | | | x | x | |
| <i>Acritopappus</i> sp. | | | x | x | x | | | | | |
| <i>Ageratum conyzoides</i> L. | | x | | | | | | | | |
| <i>Ageratum fastigiatum</i> (Gardn.) R.M.King & H.Rob. | x | x | x | | | | | | | x |
| <i>Ageratum myriadenium</i> R.M.King & H.Rob. | x | | x | x | x | | | | x | |
| <i>Aldama robusta</i> (Gardner) Schill. & Panero | | | | | | x | x | | | |
| <i>Aspilia</i> cf. <i>foliosa</i> (Gardner) Benth. & Look | | | x | | | | | | | |
| <i>Aspilia foliacea</i> Baker | | | x | | | | | | | |
| <i>Aspilia fruticosa</i> (Gardner) Baker | | | | | | x | | | | |
| <i>Aspilia subpetiolata</i> Baker | x | x | x | x | x | | | x | | x |
| <i>Austrocritonia velutina</i> (Gardner) R.M. King & H. Rob. | | | | | x | | | | | |
| <i>Baccharis aphylla</i> DC. | | | x | | | | | | | |
| <i>Baccharis crispa</i> Spreng. | | | | x | | | | | | |
| <i>Baccharis dracunculifolia</i> DC. | x | | | | | x | x | | x | |
| <i>Baccharis helichrysoides</i> DC. | x | | | | | | | | | |
| <i>Baccharis ligustrina</i> DC. | | | | | | | | | x | |
| <i>Baccharis lychnophora</i> Gardner | | | | x | x | | | | | |
| <i>Baccharis platypoda</i> DC. | x | x | | x | x | | | | | |
| <i>Baccharis reticularia</i> DC. | x | x | x | x | x | | | x | x | |
| <i>Baccharis retusa</i> DC. | | | | | x | | | | | |
| <i>Baccharis rufidula</i> (Spreng.) Joch. Müll. | | | | x | x | | | | x | |
| <i>Baccharis serrulata</i> Pers. | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Baccharis sessiliflora</i> Vahl | | | | | | | x | | | |
| <i>Baccharis subdentata</i> DC. | | | | | | | | | x | |
| <i>Baccharis tridentata</i> Vahl | | | x | | | | | | | |
| <i>Baccharis truncata</i> Gardner | x | | x | | | | | | | x |
| <i>Barrosoa organensis</i> (Gardner) R.M. King & H. Rob. | x | x | | x | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <i>Bidens bralisiensis</i> Scherff | x | | x | | | | | | | | | |
| <i>Bidens pilosa</i> L. | | | | | | x | | | | | | |
| <i>Bidens segetum</i> Mart. ex Colla | x | | | | | | | | | | | |
| <i>Calea clausseniana</i> Baker | | | | | | | | | | | | x |
| <i>Calea fruticosa</i> (Gardner) Urbatsch, Zlotzky & Pruski | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Calea lemmatioides</i> Sch. Bip. ex Baker | | | | | x | | | | | | | |
| <i>Calea rotundifolia</i> (Less.) Baker | | | | | | | | | | x | | |
| <i>Campuloclinium hirsutum</i> Gardner | | | | | | | | | | x | | |
| <i>Chaptalia integerrima</i> (Vell.) Burkart | | | x | | | | | | | | | |
| <i>Chaptalia martii</i> (Baker) Zardini | | | x | x | x | | | | | x | | |
| <i>Chaptalia nutans</i> (L.) Polak | | | x | x | x | | | | | | | |
| <i>Chresta sphaerocephala</i> DC. | | | | | | | | | | | | x |
| <i>Chromolaena barbacensis</i> (Hieron.) R.M. King & H. Rob. | | | | | | | | | | | | x |
| <i>Chromolaena campestris</i> (DC.) R.M. King & H. Rob. | | | | | | | | | | | x | |
| <i>Chromolaena cf. horminoides</i> DC. | | | | | | | | x | | | | |
| <i>Chromolaena chaseae</i> (B.L. Rob.) R.M. King & H. Rob. | x | | | | | | | | x | x | x | |
| <i>Chromolaena decumbens</i> Gardner | | | | | | | | | | x | | x |
| <i>Chromolaena laevigata</i> (Lam.) R.M. King & H. Rob. | x | | x | | | | | | | | | x |
| <i>Chromolaena maximilianii</i> (Schrud. ex DC.) R.M. King & H. Rob. | | | | | x | | | | | | | |
| <i>Chromolaena multiflosculosa</i> (DC.) R.M. King & H. Rob. | | x | x | x | x | x | x | | | | | |
| <i>Chromolaena pedalis</i> Rob. | | | | | | | | | | | | x |
| <i>Chromolaena squalida</i> (DC.) R.M. King & H. Rob. | | | x | | | | | x | | | | |
| <i>Chromolaena</i> sp. | | x | | | | | | x | | | | |
| <i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist | x | | x | | | | | | | | | |
| <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist | | | | | | x | | | | | | |
| <i>Conyza cf. neolaxiflora</i> A. Teles & Stehmann | | | x | | | | | | | | | |
| <i>Cyrtocymura scorpioides</i> (Lam.) H. Rob. | | | x | x | | x | x | | | x | | x |
| <i>Dasyphyllum flagellare</i> (Casar.) Cabrera | x | | | | | | | | | | | |
| <i>Dasyphyllum sprengelianum</i> (Gardner) Cabrera | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Echinocoryne holosericea</i> (Mart. ex DC.) H. Rob. | | | | | | | | | x | x | | x |
| <i>Echinocoryne schwenkiaefolia</i> (Mart. ex DC.) H. Rob. | | | | | | | | | | | x | |
| <i>Emilia fosbergii</i> Nicolson | x | x | | | | | | | x | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <i>Erechtites hieraciifolius</i> (L.) Raf. ex DC. | | X | X | | | | | X | | X | |
| <i>Erechtites valerianifolius</i> (Wolf) DC. | X | | X | | | | | | | | |
| <i>Eremanthus crotonoides</i> Sch.Bip. | | | | X | | | | | X | | X |
| <i>Eremanthus glomerulatus</i> Less. | | | X | | | X | | | X | X | |
| <i>Eremanthus incanus</i> (Less.) Less. | X | | X | | X | X | X | | | | |
| <i>Eremanthus</i> sp. | | | | | | | | | | X | |
| <i>Eupatorium</i> sp. 1 | | | | | | | X | | | | |
| <i>Eupatorium</i> sp. 2 | | | | | X | | | | | | |
| <i>Gnaphalium</i> sp. | X | | | | | | | | | | |
| <i>Gochnatia paniculata</i> (Less.) Cabrera | | X | | | | X | X | | | | |
| <i>Gochnatia polymorpha</i> (Less.) Cabrera | | | X | | X | | | | | X | X |
| <i>Grazielia dimorpholepis</i> (Baker) R.M. King & H. Rob. | | | | | | X | | | | | |
| <i>Grazielia intermedia</i> (DC.) R.M. King & H. Rob. | | | | | | X | | | | | X |
| <i>Heterocondylus alatus</i> (Vell.) R.M. King & H. Rob. | | | | X | | | | | | | |
| <i>Heterocondylus amphidictius</i> (Baker) R.M. King & H. Rob. | | | | | | | | | | | X |
| <i>Heterocondylus pumilus</i> (Gardner) R.M. King & H. Rob. | | | | | | | | | | X | X |
| <i>Hoehnephytum trixoides</i> (Gardn.) Cabrera | | | X | X | X | | | | | | |
| <i>Hololepis pedunculata</i> DC. | X | X | X | X | X | | | | | | |
| <i>Inulopsis</i> aff. <i>camporum</i> Gardner | | | | | | | | | | | X |
| <i>Inulopsis scaposa</i> (Remy) O. Hoffm. | | | | | | | | | | | X |
| <i>Koanophyllon adamantium</i> (Gardn.) R.M. King & H. Rob. | X | | X | X | X | | | | | X | |
| <i>Lepidaploa</i> cf. <i>chalybaea</i> (Mart. ex DC.) H. Rob. | | X | | | | | | | | | |
| <i>Lepidaploa fruticulosa</i> (L.) H. Rob. | | | X | | | | | | | | |
| <i>Lepidaploa remotiflora</i> (Rich.) H. Rob. | | | | | | | X | | | | |
| <i>Lepidaploa rufogrisea</i> A. St. Hil. | | | X | | | | X | X | X | X | |
| <i>Lepidaploa vauthieriana</i> (DC.) H. Rob. | | | | | | | | X | | | X |
| <i>Lepidaploa</i> sp. | | | | X | X | | | | | | |
| <i>Lessingianthus</i> aff. <i>psylophyllus</i> (DC.) H. Rob. | | | | X | X | | | | | | |
| <i>Lessingianthus buddleiifolius</i> (Mart. ex DC.) H. Rob. | | | | | | | X | X | | | |
| <i>Lessingianthus hoveaefolius</i> (Gardner) H. Rob. | | | | | | | | X | | | |
| <i>Lessingianthus linearifolius</i> (Less.) H. Rob. | | | X | | X | | | | X | | |
| <i>Lessingianthus linearis</i> (Spreng.) H. Rob. | | | X | X | X | | | X | | | |

| | | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <i>Lessingianthus psilophyllus</i> (DC.) H.Rob. | | | | | X | | | | | X |
| <i>Lessingianthus roseus</i> (Mart. ex DC.) H.Rob. | | X | X | | | | | | | |
| <i>Lessingianthus rosmarinifolius</i> (Less.) H. Rob. | | | | | | | | | X | X |
| <i>Lessingianthus warmingianus</i> (Baker) H. Rob. | | | | | | | | X | | |
| <i>Lessingianthus</i> sp. | | | | | X | | | | | |
| <i>Lucilia lycopodioides</i> (Less.) S. E. Freire | | | X | | X | | | | | |
| <i>Lychnophora passerina</i> Gardner | | | | | X | | | | | |
| <i>Lychnophora pinaster</i> Mart. | X | X | X | X | X | X | | X | X | X |
| <i>Lychnophora reticulata</i> Gardner | | | | | | | | | X | |
| <i>Lychnophora syncephala</i> Sch. Bip. | | X | X | X | X | | | | | X |
| <i>Mikania cordifolia</i> (L.f.) Willd. | | | | X | X | | | | | |
| <i>Mikania glauca</i> Mart. | | | | | | | | X | X | X |
| <i>Mikania lasiandrae</i> DC. | X | | X | X | | | | | | |
| <i>Mikania leiolaena</i> DC. | | | | | | X | | X | | |
| <i>Mikania micrantha</i> H.B. & K. | | | X | | | | | | | |
| <i>Mikania microphylla</i> Sch.Bip. ex Baker | | | X | | | | | | | |
| <i>Mikania nummularia</i> DC. | | | | X | | | | | X | |
| <i>Mikania phaeoclados</i> Mart. | | X | | | | | | X | | |
| <i>Mikania ramosissima</i> Gardner | | | | X | | | | | X | |
| <i>Mikania rothii</i> G.M. Barroso | | | | | | | | X | | |
| <i>Mikania sessilifolia</i> DC. | | | X | X | X | X | | X | X | X |
| <i>Mikania subverticillata</i> Sch. Bip. ex Baker | | | | X | | | | | | |
| <i>Mikania</i> sp. | X | | | | | | | | | |
| <i>Piptocarpha axillaris</i> (Less.) Baker | | | | X | X | | | | | |
| <i>Pluchea sagitalis</i> (Lam.) Cabrera | | | | | X | | | | | |
| <i>Porophyllum angustissimum</i> Gardner | | | | | | | | | | X |
| <i>Porophyllum ruderale</i> (Jacq.) Cass. | | | | | | | X | | | |
| <i>Praxelis capillaris</i> Sch.Bip. | | | | | | | X | | | |
| <i>Praxelis kleiniioides</i> (Kunth) Sch.Bip. | | | | | | | | | X | |
| <i>Pseudobrickellia angustissima</i> (Spreng. ex Baker) R.M.King & H. Rob. | X | | | | | | | X | X | X |
| <i>Pterocaulon alopecuroides</i> (Lam.) DC. | | | | | X | | | | | |
| <i>Richterago amplexifolia</i> Kuntze | | | X | X | X | | | | | X |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <i>Richterago radiata</i> (Vell.) Roque | | | | | X | | X | X | X |
| <i>Senecio adamantinus</i> Bong. | | | X | | | | | | |
| <i>Senecio brasiliensis</i> (Spreng.) Less. | | | | X | | | | | |
| <i>Senecio linearilobus</i> Bong. | | | X | X | X | | | | |
| <i>Senecio pohlii</i> Sch.Bip. ex Baker | X | X | X | X | X | | X | | X |
| <i>Sonchus oleraceus</i> L. | X | | | | | | | | |
| <i>Stenocephalum megapotamicum</i> Sch.Bip. | | | X | | | | | | |
| <i>Stenophalium chionaeum</i> (DC.) Anderb. | | X | | X | X | | X | X | |
| <i>Stenophalium gardneri</i> (Baker) D.J.N. Hind | | | X | | X | | | | |
| <i>Stevia claussenii</i> Sch.Bip. ex Baker | | X | | | X | X | | X | |
| <i>Stevia lundiana</i> DC. | | | X | | | | | | |
| <i>Stevia riedelii</i> Sch.Bip. ex Baker | | | | | | | | | X |
| <i>Stevia urticaefolia</i> Thunb. | X | | X | | | | X | | X |
| <i>Symphyopappus brasiliensis</i> (Gardner) R.M. King & H. Rob. | X | X | X | | X | X | X | X | |
| <i>Symphyopappus cuneatus</i> Sch.Bip. ex Baker | X | | | | | | X | | |
| <i>Symphyopappus polystachyus</i> (DC.) Baker | X | | | | | | | | |
| <i>Symphyopappus</i> sp. nv. | | | | X | X | | | | |
| <i>Tilesia baccata</i> (L.) Pruski | | X | | | | | | | |
| <i>Trichogonia hirtiflora</i> Sch.Bip. ex Baker | | X | X | X | X | | X | X | X |
| <i>Trichogonia salviifolia</i> Gardner | | | | | | X | X | | X |
| <i>Trichogonia villosa</i> Sch. Bip. ex Baker | | | | | X | | X | X | X |
| <i>Trixis glutinosa</i> D. Don | | | | | | X | X | X | |
| <i>Trixis vauhierii</i> DC. | X | X | | | X | X | | | X |
| <i>Trixis verbasciformis</i> Less. | | | X | | X | | | X | |
| <i>Verbesina claussenii</i> Sch.Bip. ex Baker | | | | X | X | | | | |
| <i>Vernonanthura divaricata</i> (Spreng.) H.Rob. | | | X | | | | | | |
| <i>Vernonanthura polyanthes</i> (Spreng.) Vega& Dematt. | X | | X | X | X | | | | |
| <i>Vittetia orbiculata</i> (DC.) R.M. King & H. Rob. | X | X | X | X | X | | | | X |
| Poaceae | | | | | | | | | |
| <i>Andropogon bicornis</i> L. | X | X | | X | X | | | X | X |
| <i>Andropogon carinatus</i> Nees | X | X | | | X | | | X | |
| <i>Andropogon ingratus</i> Hack. | X | | X | | | | X | X | |

| | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <i>Andropogon leucostachyus</i> Kunth | | | | X | | | | | | X | |
| <i>Andropogon macrothrix</i> Trin. | | | | X | X | | | | | X | |
| <i>Andropogon virgatus</i> Desv. ex Ham. | | | | | | | | | | | X |
| <i>Andropogon</i> sp. | | | | | | | X | | | | X |
| <i>Anthraenantia lanata</i> (Kunth) Benth. | | | | | | | | | | X | |
| <i>Apochloa molinioides</i> (Trin.) Zuloaga & Morrone | | | | X | X | | | | | | |
| <i>Apochloa poliophylla</i> (Renvoize & Zuloaga) Zuloaga & Morrone | | | | X | X | | | | | | |
| <i>Aristida capillacea</i> Cav. | | | | | | X | X | | | X | X |
| <i>Aristida gibbosa</i> Kunth | | | | | | X | | | | | |
| <i>Aristida recurvata</i> H.B. & K. | | | | | | X | X | X | X | | X |
| <i>Aristida riparia</i> Trin. | | | | | | X | | | | | |
| <i>Aristida setifolia</i> H.B. & K. | | | | | | X | | | | | |
| <i>Aristida torta</i> (Nees) Kunth | | | | | | | | | X | X | X |
| <i>Aulonemia effusa</i> (Hack.) McClure | | | | | | | | | X | | |
| <i>Axonopus brasiliensis</i> Kuhlman | | | | | | | | | | | X |
| <i>Axonopus capillaris</i> Chase | | X | | | | X | | | | X | |
| <i>Axonopus</i> cf. <i>affinis</i> Chase | | X | | | | | | | | | |
| <i>Axonopus chrysoblepharis</i> Chase | | | | | | | X | X | | | |
| <i>Axonopus compressus</i> (Nees) Dedecca | | | | X | | | | | | | |
| <i>Axonopus fastigiatus</i> Kuhlman | | | | | | | | | | X | X |
| <i>Axonopus marginatus</i> Chase | | | X | | | | | | | | |
| <i>Axonopus pressus</i> (Nees) Parodi | | | | | | | X | X | | | |
| <i>Axonopus siccus</i> Kuhlman | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| <i>Chusquea attenuata</i> Doll | | | | X | X | | | | | | |
| <i>Chusquea</i> cf. <i>pinifolia</i> (Nees) Nees | | | | X | | | | | | | |
| <i>Chusquea nutans</i> L.G. Clark | | | X | | | | | | | | |
| <i>Ctenium brevispicatum</i> J.G. Sm. | | | | | X | | | | | | |
| <i>Dichantherium sabulorum</i> (Lam.) Gould & C.A. Clark | | | | | | | | | X | X | X |
| <i>Dichantherium sciurotoides</i> Zuloaga & Morrone | | | | X | | | | | | X | |
| <i>Echinolaena inflexa</i> Chase | X | | X | | | X | X | X | X | X | X |
| <i>Eragrostis mokensis</i> Pilg. | | | | | | | | | | X | |
| <i>Eragrostis rufescens</i> Roem. & Schult. | X | X | | | X | | X | | | X | X |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <i>Ichnanthus bambusiflorus</i> Doell | X | X | | X | X | X | | | | |
| <i>Ichnanthus inconstans</i> Doll | | | | | | | | X | | |
| <i>Ichnanthus longiglumis</i> Mez | | | | | | | | X | X | |
| <i>Ichnanthus pallens</i> (Sw.) Benth. | | X | | | | | | | | |
| <i>Lasiacis</i> cf. <i>sorghoidea</i> Hitchcock & Chase | | | X | | | | | | | |
| <i>Loudetiopsis chrysothrix</i> (Ness) Conert | | | X | | | | | | | |
| <i>Melinis minutiflora</i> P. Beauv. | X | X | X | | X | X | X | X | X | |
| <i>Melinis repens</i> (Willd.) C. E. Hubb. | X | X | | | | | | | | |
| <i>Mesosetum loliiforme</i> Chase | | | X | | | | | X | | X |
| <i>Microchloa indica</i> (L. f.) P. Beauv. | X | X | X | | | | X | | | |
| <i>Ocellochloa rudis</i> (Nees) Zuloaga & Morrone | X | X | X | | | | | | | |
| <i>Olyra humilis</i> Nees | | X | | | | | | | | |
| <i>Panicum</i> aff. <i>sabulorum</i> Lam. | | | | | | | X | | | |
| <i>Panicum</i> cf. <i>subulatum</i> Spreng. | | X | | | X | | | | | |
| <i>Panicum cyanescens</i> Nees | | | | | | X | X | | | X |
| <i>Panicum euprepes</i> Renvoize | | | | | X | | | X | | X |
| <i>Panicum schwackeanum</i> Mez | | | | | | | | | | X |
| <i>Panicum sellowii</i> Nees | X | X | X | X | X | X | | | | |
| <i>Panicum wettsteinii</i> Hack. | X | X | X | X | | X | X | X | X | |
| <i>Panicum</i> sp. | X | X | | | | | | | | |
| <i>Parodiophyllochloa ovulifera</i> (Trin.) Zuloaga & Morrone | | X | X | | | | | | | |
| <i>Parodiophyllochloa pantricha</i> (Hack.) Zuloaga & Morrone | | | | | | | | | | |
| <i>Paspalum</i> aff. <i>erianthum</i> Nees ex Trin. | | | | | X | | | | | |
| <i>Paspalum</i> aff. <i>scalare</i> Trin. | | | | | | | | | X | X |
| <i>Paspalum</i> aff. <i>trachycoelon</i> Steud. | | | | | | | X | | | |
| <i>Paspalum</i> cf. <i>stellatum</i> Trin. | | | | | | | X | | | |
| <i>Paspalum brachytrichum</i> Hack. | | X | X | X | X | | | | | |
| <i>Paspalum carinatum</i> Humb. & Bonpl. ex Flügge | X | X | | | | | | | | X |
| <i>Paspalum cinerascens</i> (Doell) A.G.Burm. & M.N.C. Bastos | X | | | | | X | | | | |
| <i>Paspalum convexum</i> Willd. ex Doll | X | X | | | | | | | | |
| <i>Paspalum cultratum</i> (Trin.) S. Denham | | X | X | | | | | | | |
| <i>Paspalum erianthum</i> Nees ex Trin. | | | X | X | X | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <i>Paspalum eucomum</i> Nees ex Trin. | | | | | | X | X | | | |
| <i>Paspalum mandiocanum</i> Trin. | | | | X | | | | | | |
| <i>Paspalum monostachyum</i> Vasey | | | | X | | | | | | |
| <i>Paspalum parviflorum</i> Desv. | | | | | | | X | | | |
| <i>Paspalum polyphyllum</i> Nees | | | X | X | X | X | | X | X | X |
| <i>Paspalum scalare</i> Trin. | X | X | X | X | X | | | | X | |
| <i>Paspalum</i> sp. | | | | | | | X | | | |
| <i>Polypogon elongatus</i> Kunth | | | | | X | | | | | |
| <i>Raddiella esenbeckii</i> (Steud.) C.E. Calderón & Soderstr. | | | X | | | | | | X | |
| <i>Schizachyrium</i> aff. <i>microstachyum</i> (Desv.) Roseng., Arrill.deMaffei & Izag. De Artucio | | | | | | X | | | | |
| <i>Schizachyrium</i> aff. <i>tenerum</i> Nees | | | | X | X | | | | | |
| <i>Schizachyrium microstachyum</i> (Desv.) Roseng., Arrill.deMaffei & Izag. De Artucio | | | | | | | | | | X |
| <i>Schizachyrium sanguineum</i> (Retz.) Alston | | | | | | X | X | | | |
| <i>Schizachyrium tenerum</i> Nees | X | | X | X | X | X | X | X | X | |
| <i>Setaria parviflora</i> (Poir.) Kerguélen | | X | | | | | X | | | X |
| <i>Setaria</i> sp. | | | | | | | X | | | |
| <i>Sporobolus acuminatus</i> Hack. | | X | X | | | | | X | | |
| <i>Sporobolus aeneus</i> Kunth | | X | X | | | | | X | | X |
| <i>Sporobolus ciliatus</i> De Wild. | | | | | | | X | | | |
| <i>Sporobolus metallicolus</i> Longhi-Wagner & Boechat | X | X | X | X | X | X | | | X | X |
| <i>Steinchisma laxa</i> (Sw.) Zuloaga | X | | | | | | | | | |
| <i>Steinchisma decipiens</i> (Nees ex Trin.) W.V.Br. | | | | | | | | | | X |
| <i>Trachypogon spicatus</i> Kuntze | | | | | | X | X | | X | |
| <i>Tristachyaleiostachya</i> Nees | | | | | | | | | | X |
| Total (spp.) | 58 | 55 | 81 | 64 | 81 | 49 | 52 | 48 | 62 | 64 |

Annex 3. Models of relation between outcrop area and species richness of Asteraceae and Poaceae.

| Asteraceae | Linear | Exponential | Logarithmic | Geometric |
|-------------------|--------|-------------|-------------|-----------|
| Intercept | 21.148 | 23.778 | 2.031 | 14.311 |
| Slope | 0.0736 | 0.019 | 12.079 | 0.315 |
| r ² | 0.567 | 0.592 | 0.483 | 0.524 |
| p | 0.012 | 0.009 | 0.025 | 0.017 |
| Poaceae | Linear | Exponential | Logarithmic | Geometric |
| Intercept | 22.788 | 22.637 | 21.255 | 21.261 |
| Slope | 0.035 | 0.002 | 0.791 | 0.033 |
| r ² | 0.024 | 0.026 | 0.037 | 0.036 |
| p | 0.666 | 0.658 | 0.591 | 0.601 |

Annex 4. Geographic distance (km) matrix among 10 outcrops, in the Iron Quadrangle. For site codes see Tab. 1.

| | C2 | C3 | C4 | C5 | G1 | G2 | Q1 | Q2 | Q3 |
|----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| C1 | 1.4 | 31 | 34.4 | 33.8 | 30.5 | 25.4 | 2 | 32.5 | 30 |
| C2 | - | 32.5 | 31.3 | 32.6 | 31.5 | 26.3 | 4 | 31.2 | 31.1 |
| C3 | | - | 37 | 34 | 1.9 | 6.2 | 30 | 35 | 0.8 |
| C4 | | | - | 3.5 | 39 | 35.7 | 35.5 | 4.5 | 37.5 |
| C5 | | | | - | 38.6 | 35.4 | 35.6 | 2 | 36.7 |
| G1 | | | | | - | 5 | 28.5 | 36.6 | 1.6 |
| G2 | | | | | | - | 23.7 | 33.4 | 4.7 |
| Q1 | | | | | | | - | 33.4 | 28 |
| Q2 | | | | | | | | - | 34.5 |
| Q3 | | | | | | | | | - |

Annex 5. Classes of texture and reference values for some chemicals variables of the soil collected in rock outcrops in the Iron Quadrangle. For site codes see Tab. 1.

| | ¹ Textural class | ² pH | ³ P | ³ Base saturation | ⁴ Aluminum saturation | ⁵ C | ³ N | ⁶ Fe | ⁶ Mn |
|-----------|-----------------------------|-----------------|----------------|------------------------------|----------------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| CI | clay loam | strongly acid | very low | very low | high | low | high | high | high |
| C2 | loam | strongly acid | very low | very low | high | low | high | high | high |
| C3 | sandy loam | strongly acid | very low | very low | high | low | medium | high | high |
| C4 | clay loam | strongly acid | very low | very low | high | low | high | high | high |
| C5 | loam | strongly acid | very low | very low | very high | low | high | high | high |
| G1 | sandy loam | strongly acid | very low | very low | very high | low | medium | high | high |
| G2 | sandy loam | strongly acid | very low | very low | very high | low | high | high | high |
| Q1 | sandy loam | strongly acid | very low | very low | very high | low | low | high | high |
| Q2 | loamy sandy | strongly acid | very low | very low | very high | low | low | high | high |
| Q3 | loamy sandy | strongly acid | very low | very low | very high | low | low | high | high |

¹ Valentin & Bresson (1992); ²EMBRAPA (1999); ³ Hazelton & Murphy (2007); ⁴Ronquim (2010); ⁵Benites *et al.* (2007); ⁶Sousa & Lobato (2004).

CAPÍTULO 5

PADRÕES DE DIVERSIDADE E ESTRUTURA DE COMUNIDADES DE PLANTAS EM AFLORAMENTOS ROCHOSOS, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, BRASIL.

Carmo, F. F. & Jacobi, C.M.

Departamento de Biologia Geral - ICB, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901 Belo Horizonte, MG, Brazil

Resumo: Foram investigados nove afloramentos rochosos – três cangas, três quartzitos, dois gnáissicos e um granito. Foram utilizados cinco transectos em cada afloramento para a coleta de variáveis topográficas, de fertilidade de solo e da vegetação. As espécies inventariadas foram organizadas em 11 grupos funcionais. Análises de perfis de diversidade, de classificação e de ordenação (PCA e DCA) foram elaboradas com o objetivo de explorar padrões de diversidade e estrutura de comunidades de plantas e relacioná-los aos padrões edáficos/topográficos encontrados. Foram inventariados 17690 indivíduos, distribuídos entre 352 espécies de plantas vasculares. Os grupos funcionais com maior cobertura vegetal foram os esclerófitos, as ervas graminóides e as poiquiloídricas. As comunidades associadas ao granito e gnaisses foram as menos diversas. Entre as cangas e os quartzitos, não houve um padrão claro, com variações dependendo do parâmetro alfa do perfil de diversidade. As análises de ordenação posicionaram de forma agregada os afloramentos de mesma origem geológica. As cangas abrigaram a maior biomassa de plantas com distribuição restrita ao Quadrilátero Ferrífero, seguidas pelos quartzitos, gnaisses e pelo granito.

Palavras-chave: canga, granito, gnaisse, quartzito, endemismo, fatores edáficos, conservação.

Introdução

As formações vegetais que crescem sobre diferentes tipos de substratos rochosos nas montanhas do leste do Brasil são caracterizadas pela elevada diversidade – alfa e beta – e abrigam centenas de espécies raras e com alto valor para a conservação. Por isso, representam um dos maiores patrimônios biológicos do país (Giulietti *et al.*, 1997; Rapini *et al.*, 2008; Fiaschi & Pirani, 2009; Giulietti *et al.*, 2009). Além disso, os próprios sistemas rochosos fornecem serviços ecossistêmicos de extrema relevância para a manutenção da qualidade ambiental como a recarga e armazenamento de água, regulação climática e o estoque de carbono (Szarzynsky, 2000; Mourão, 2007; Silva *et al.*, 2009).

Apesar de o Brasil ser signatário da Convenção para a Biodiversidade Biológica, no qual um dos focos é a biodiversidade de montanhas, ainda há poucos estudos específicos sobre biodiversidade nestes ambientes (Martinelli, 2007). Com relação a estudos focando a vegetação sobre afloramentos rochosos no Brasil, revisões recentes apontam a necessidade de pesquisas que contribuam para o conhecimento dos padrões ecológicos e para os programas adequados para sua conservação (Martinelli, 2007; Scarano, 2007; Rapini *et al.*, 2008).

Vários trabalhos citam que a vegetação em sistemas rochosos é predominantemente condicionada por fatores edáficos, alguns de origem química como a fertilidade do solo e o pH, e outros de origem física, como a inclinação do substrato, a conformação da superfície da rocha e a profundidade do solo (Huggett, 1995; Kruckeberg, 2004; Vincent & Meguro, 2008; Messias *et al.*, 2013). Entretanto, ainda são escassos os estudos quantitativos que investigaram os fatores edáficos de natureza física nos sistemas brasileiros. Entre eles estão os desenvolvidos em quartzitos nas Serras de Ouro Branco e Lenheiros (Alves & Kolbek, 1993) e em granitóides do Planalto de Itatiaia (Ribeiro & Medina, 2002; Medina *et al.*, 2006).

O Quadrilátero Ferrífero (MG) representa uma das paisagens mais relevantes e mais ameaçadas do Brasil, pois concentra uma riqueza geológica, mineral e biológica com poucos paralelos no país (Dorr II, 1969; Drummond *et al.*, 2005; Jacobi & Carmo, 2007; 2012). Constituído por terrenos antigos, o Quadrilátero Ferrífero apresenta dezenas de tipos litológicos. Entre os afloramentos mais abundantes estão os de quartzito, granito-gnaiss e os afloramentos ferruginosos, conhecidos como cangas. Carmo & Jacobi (2012a) apontaram a região como um dos principais centros de endemismos da plantas do leste do Brasil, incluindo a presença de dezenas de plantas raras (*sensu* Giuliatti *et al.*, 2009) associadas aos sistemas rochosos ferruginosos. A diversidade, o endemismo e a raridade constituem atributos utilizados para mensurar o valor de conservação de uma determinada localidade (Rodrigues *et al.* 2004). Ao mesmo tempo, o Quadrilátero também é considerado uma das mais importantes províncias minerais do mundo (Spier *et al.*, 2003), gerando uma intensa atividade de mineração com enormes impactos na biodiversidade local e regional (Carmo *et al.*, 2012).

Um dos maiores desafios no estudo de comunidades rupestres está representado pela dificuldade de comparação entre os padrões encontrados devido a elevada heterogeneidade ambiental e pela ausência ou impossibilidade de padronização de

métodos e esforço amostral (Moura *et al.*, 2011). Assim, investigamos vários tipos de afloramentos com a finalidade de realizar tais comparações.

O objetivo principal deste estudo foi explorar padrões de diversidade e estrutura de comunidades de plantas e relacioná-los aos padrões edáficos/topográficos de quatro tipos de afloramentos rochosos localizados no Quadrilátero Ferrífero. Além disso, foi investigada a distribuição geográfica das espécies dominantes para determinar o grau de endemismo.

Material & Métodos

Área de Estudo

O Quadrilátero Ferrífero - QF, abrangendo uma área de aproximadamente 7200 km², está inserido na região central de Minas Gerais. A localidade está sob a influência fitogeográfica do Cerrado e da Mata Atlântica, ambos considerados *hotspots* mundiais de biodiversidade (Mittermeier *et al.*, 2004). A temperatura média anual varia em torno de 20 °C e a precipitação média anual, em torno de 1 500 mm, mas dependendo da localidade, pode ocorrer precipitação média anual de até 2 000 mm. A região está sujeita a déficit hídrico entre os meses de junho até setembro (Dorr II, 1969).

Foram investigados quatro tipos de afloramentos: canga, quartzito, gnaiss e granito. As cangas são afloramentos formados há milhões de anos devido ao intemperismo de rochas ferríferas subjacentes, resultando em couraças com elevadas concentrações dos minerais limonita, hematita e goetita. As cangas podem atingir dezenas de metros de espessura e se estender por milhares de hectares. Os quartzitos são formados por metassedimentos clásticos e químicos e os constituintes minerais principais são o quartzo e a muscovita. Os granitóides - gnaisses e granitos - são constituídos predominantemente por feldspato, quartzo e biotita (Dorr II, 1969). De acordo com os constituintes minerais principais (Fernandes, 2007), esses afloramentos podem ser agrupados em silicatos (granito, gnaiss e quartzito) e afloramentos ferruginosos (cangas). Os solos derivados desses sistemas rochosos são rasos, apresentam fertilidade muito baixa e podem ser classificados como neossolos litólicos, organossolos, cambissolos e plintossolos (Benites *et al.*, 2007; Carvalho-Filho *et al.*, 2010).

Coleta de dados

Entre 2008 e 2012, sempre durante a estação chuvosa (dezembro-março), foram investigados três afloramentos de canga, três de quartzito, dois gnaisses e um granito (Tab. 1). Em cada afloramento foram estabelecidos cinco transectos (100 m cada) posicionados em paralelo, seguindo as curvas de nível, e distantes no mínimo 20 m entre si. Foram excluídos os setores dos afloramentos que continham áreas alagadas, capões e paredões rochosos. Em cada transecto foram instaladas 10 parcelas de 2m x 1m a intervalos de 10 m, nas quais foram mensuradas as variáveis topográficas e da vegetação.

Tabela 1. Localização dos afloramentos rochosos investigados, Quadrilátero Ferrífero, MG.

| Localidade/litotipo | Código | UTM (23 K) | | Altitude (m) |
|----------------------|--------|------------|---------|--------------|
| Rola Moça/Canga | CR | 610856 | 7751133 | 1 430 |
| Moeda/Canga | CM | 637525 | 7777908 | 1 528 |
| Gandarela/Canga | CG | 604791 | 7783231 | 1 630 |
| Moeda/Gnaissse | GM | 610701 | 7752298 | 1 090 |
| Moeda/Gnaissse | GV | 635851 | 7776359 | 1 244 |
| Peti/Granito | GP | 670771 | 7799877 | 800 |
| Rola Moça/Quartzito | QR | 601606 | 7780113 | 1 300 |
| Água Limpa/Quartzito | QA | 608722 | 7751696 | 1 360 |
| Moeda/Quartzito | QM | 608800 | 7756785 | 1 470 |

Fertilidade do solo

Foram coletas 45 amostras de solo, uma para cada transecto, para realização de análise de fertilidade. No presente estudo foram consideradas duas das principais variáveis químicas relacionadas a fertilidade do solo (Novais *et al.*, 2007): carbono orgânico (C) e capacidade de troca catiônica efetiva (CTC).

Variáveis do substrato

As variáveis mensuradas foram:

Profundidade do solo (cm): mensurada a partir de três pontos (proximal, centro e distal da parcela em relação ao transecto), utilizando um paquímetro ou uma barra fina de aço, o qual foi inserido no solo até alcançar a rocha.

Inclinação da superfície (°): mensurada a partir de três pontos (proximal, centro e distal da parcela em relação ao transecto), utilizando um clinômetro de mão.

Tipo de substrato rochoso: número de tipos observados em cada parcela: lajeado, conglomerado, estruturado, blocos inclinados, fraturado, com depressões/concavidades, com matações, e pedregoso. Alguns tipos de substrato foram adaptados de Porembski & Barthlott (2000) e Carmo & Jacobi (2012b).

Vegetação

Em cada parcela foram identificadas as espécies e mensurada a cobertura vegetal de cada indivíduo maior que 03 cm de altura ou de diâmetro. Para as plantas com crescimento clonal, cada touceira ou ramete visualmente isolado foi contabilizado como um único indivíduo. A área da cobertura foi estimada a partir da fórmula da elipse, seguindo Meirelles (1996), medindo o maior diâmetro da parte aérea e o diâmetro perpendicular. A nomenclatura taxonômica seguiu a Lista de Espécies da Flora do Brasil (2014). A distribuição geográfica e o grau de ameaça das espécies que apresentaram as maiores coberturas foram determinados a partir de consulta ao catálogo de plantas raras do Brasil (Giulietti *et al.*, 2009), da lista florística de plantas de cangas do Quadrilátero Ferrífero (Jacobi & Carmo, 2012), da lista de espécies da flora do Brasil (2014) e a partir de listas oficiais - estadual e federal - de espécies ameaçadas de extinção.

As espécies foram organizadas em 11 grupos funcionais, baseados na forma de crescimento, em características morfológicas ou ecofisiológicas relacionadas com adaptações as condições geoedáficas estressantes, seguindo Balslev & Luteyn (1992), Porembski & Barthlott (2000) e Cornelissen *et al.* (2003): (1) esclerófitos: subarbustos ou arbustos (<1.5 m altura) com microfilia, filotaxia frequentemente imbricada ou hábito ericóide; (2) ervas graminóides: perenes ou anuais, portando sistema radicular fasciculado; (3) suculentas: portando folhas carnosas (gênero *Portulaca*) ou estruturas como pseudobulbos, em Orchidaceae, ou cladódios, em Cactaceae; (4) tolerantes a dessecação ou “plantas de ressurreição”: exibem mecanismos ecofisiológicos para sobreviverem a ciclos de desidratação e reidratação; (5) rosetas acaulescentes; (6)

touceiras: plantas robustas rizomatosas, com folhas densamente enroladas e escapos que podem atingir mais de 2 m altura; (7) hemiparasitas: realizam fotossíntese mas retiram água e nutrientes do hospedeiro através de raízes especializadas, chamadas haustórios; (8) ervas: monocotiledôneas ou dicotiledôneas, perenes ou anuais; (9) arvoretas: plantas lenhosas com altura > 1,5 m; (10) trepadeiras herbáceas; (11) pteridófitas. A forma de crescimento clonal é muito frequente nos grupos 2, 3, 4, 5, 6 e 11. No grupo 4, o crescimento clonal é caracterizado por conexões curtas e compactas entre os rametes, apresentando crescimento muito lento e radial (Lovett-Doust 1981).

Variáveis climáticas

As variáveis utilizadas foram a precipitação média anual e a temperatura média anual, as quais foram extraídas do banco de dados WORLDCLIM na resolução de 1 km². Os valores das variáveis representam interpolações obtidas a partir de dados coletados entre 1950-2000 por estações meteorológicas da região (Hijmans *et al.*, 2005).

Análise de dados

As análises de similaridade florística entre os nove afloramentos foram baseadas no coeficiente de Jaccard e critério de agrupamento UPGMA. A partir da cobertura vegetal dos grupos funcionais foram realizadas duas análises de agrupamento baseadas no coeficiente de Bray-Curtis (UPGMA). A primeira investigou a similaridade entre os 45 transectos e a segunda verificou a similaridade entre os nove afloramentos.

A diversidade entre as comunidades de plantas foi comparada a partir de perfis de diversidade estimados através da série de Rényi (Tóthmérész, 1995). A série de Rényi resulta em pesos atribuídos a abundância das espécies. Então, quando o valor da série for zero, a diversidade será representada pela riqueza absoluta de espécies, ou seja, a influência de espécies raras para a diversidade é máxima; quando o valor for próximo de 1, equivale ao índice de Shannon (H'); para valores próximos de 2, equivale ao índice de Simpson ($1/D$); para valores > 2 a influência de espécies raras diminui (Melo, 2008). Foram construídos dois perfis de diversidade, um a partir da abundância das espécies e outro considerando a abundância dos tipos funcionais. A análise foi realizada comparando os intervalos de confiança (95%).

A ordenação da vegetação baseou-se na análise de correspondência distendida (DCA). A matriz da DCA foi composta pela cobertura vegetal das espécies que juntas

atingiram cobertura vegetal > 70% do total mensurado para cada um dos nove afloramentos.

Uma matriz de correlação foi construída a partir de 10 variáveis abióticas para a realização de análise de componentes principais PCA. Foram utilizadas as variáveis climáticas, de fertilidade do solo e topográficas: profundidade do solo (mediana); profundidade do solo (coeficiente de variação); inclinação do substrato (mediana); inclinação do substrato (coeficiente de variação); tipo do substrato rochoso; e heterogeneidade do substrato, variável estimada a partir da equação:

$$a \times (b + 1)$$

em que a = inclinação do substrato (mediana) e b = profundidade do solo (mediana).

Foram utilizadas ferramentas analíticas baseadas em modelos *broken-stick* para testar se os valores observados dos autovalores e dos autovetores diferem significativamente de zero, seguindo abordagens descritas por Peres-Neto *et al.* (2003; 2005). Os intervalos de confiança dos autovalores gerados a partir dos dados observados e localizados sob os autovalores gerados de um modelo (nulo) *broken-stick* indicarão os componentes não-significativos, ou não interpretáveis (Jackson, 2003). Essa avaliação foi realizada através de um *screeplot*, onde os intervalos de confiança (95%) foram estimados a partir de 1000 permutações. A significância dos autovetores dos componentes principais foi então testada a partir de um protocolo desenvolvido por Peres-Neto *et al.* (2003). As análises foram realizadas no programa PAST 3.0 (Hammer *et al.*, 2001).

Resultados

Nos nove afloramentos foram mensurados 17 690 indivíduos, distribuídos entre 352 espécies de plantas vasculares. A maior riqueza de espécies (116) e a maior cobertura vegetal (1 168 034 cm²) foram encontradas no quartzito QR. No outro extremo, o granito GP abrigou o menor número de espécies (28) e a menor cobertura vegetal (271 376 cm²). O afloramento com o maior número de indivíduos amostrados (3 476) foi a canga CM e o menor número (662) foi encontrado no granito GP (Tab. 2).

Os esclerófitos representaram a maior cobertura vegetal nas cangas CM e CR. As espécies graminóides e os esclerófitos dominaram a canga CG. Para o quartzito QR foram os esclerófitos e as arvoretas. As ervas graminóides apresentaram a maior cobertura no afloramento QM e QA, no qual também dominaram as poiquiloídricas. Entre os granitóides dominaram as poiquiloídricas, seguidas pelas rosetas em GP e pelas

ervas graminóides em GV (Tab. 2). Considerando todos os afloramentos investigados, os grupos funcionais dominantes foram os esclerófitos, as ervas graminóides e as poiquiloídricas.

A análise de classificação baseada na presença/ausência de espécies (Fig. 1) identificou três agrupamentos com baixa similaridade florística ($< 22\%$). Cada agrupamento foi formado por afloramentos de mesma origem litológica. A análise baseada em grupos funcionais identificou que os quartzitos QM e QA foram os mais similares ($>80\%$). Este agrupamento se uniu a um maior, formado pelas cangas e pelo quartzito QR, com 51% de similaridade. Os granitóides formaram um agrupamento com 58% de similaridade, o qual se uniu aos demais com similaridade de 31%.

A análise de classificação baseada em grupos funcionais encontrados nos 45 transectos identificou dois agrupamentos unidos com similaridade de 47%. Um deles foi constituído predominantemente pelos transectos localizados nos quartzitos e o outro pelos localizados nas cangas. Os granitóides, somados ao transecto QA3, formaram um terceiro agrupamento (34% de similaridade), o qual se uniu aos demais com 29% de similaridade (Fig. 1).

Os perfis de diversidade (Fig. 2) estimados a partir da abundância das espécies, indicaram que a comunidade QR foi a mais diversa, independentemente do parâmetro α ou do seu correspondente índice de diversidade. Quando o parâmetro α foi próximo de 1 (H'), as comunidades mais diversas foram $QM=QA=CG=CM>CR=GM=GV>GP$. Quando o parâmetro α foi próximo de 2 (índice de Simpson), as comunidades mais diversas foram $QM=QA=CG=CM>CR>GP=GV>GM$. Entretanto, os perfis de diversidade estimados a partir da abundância dos grupos funcionais resultaram em padrões diferentes. Para o parâmetro α próximo de 1, as comunidades mais diversas foram $QR=CG=CR>CM=QA>QM=GP=GM>GV$. Quando o parâmetro α foi próximo de 2, as comunidades mais diversas foram $CG=CR=QR=CM>QA=QM=GM=GP>GV$.

Tabela 2 – Parâmetros das comunidades vegetais em nove afloramentos rochosos, Quadrilátero Ferrífero, MG. Os tipos funcionais com maior valor de cobertura vegetal em cada afloramento estão sublinhados. As identificações dos códigos das localidades estão na Tab. 1.

| | CM | CR | CG | QR | QM | QA | GM | GV | GP | Total |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| Número de espécies | 85 | 58 | 85 | 116 | 84 | 83 | 66 | 53 | 28 | 352 |
| Número de indivíduos | 3 476 | 2 004 | 2 751 | 1 483 | 2 829 | 2 462 | 859 | 1 164 | 662 | 17 690 |
| Cobertura vegetal total (1x10 ³ cm ²) | 1 115.7 | 1 092.6 | 1 100.8 | 1 168.0 | 962.3 | 841.9 | 369.8 | 353.8 | 271.4 | 7 276 |
| Nº Parcelas sem vegetação (rocha nua) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 18 | 8 | 19 | 46 |
| Cobertura vegetal / Tipo Funcional (1x10 ³ cm ²) | | | | | | | | | | |
| Arvoreta | 0.0 | 50.0 | 0.0 | <u>353.0</u> | 56.4 | 72.8 | 41.2 | 88.4 | 0.0 | 661.8 |
| Esclerófito | <u>560.0</u> | <u>668.8</u> | <u>431.1</u> | <u>354.0</u> | 132.6 | 100.5 | 36.8 | 52.0 | 49.0 | 2384.8 |
| Graminóide | 301.8 | 109.1 | <u>454.6</u> | 233.4 | <u>380.4</u> | <u>293.1</u> | 95.0 | <u>92.3</u> | 52.0 | 2011.7 |
| Erva | 111.4 | 6.0 | 21.9 | 100.7 | 44.8 | 44.7 | 2.9 | 2.0 | 1.9 | 336.3 |
| Trepadeira | 10.5 | 0.8 | 4.4 | 11.9 | 0.4 | 0.0 | 9.9 | 2.8 | 1.0 | 41.7 |
| Pteridófita | 0.2 | 0.0 | 36.8 | 1.0 | 10.8 | 0.5 | 2.1 | 15.8 | 9.7 | 76.9 |
| Poiquiloídrica | 12.1 | 101.1 | 105.9 | 11.9 | 169.6 | <u>268.9</u> | <u>178.8</u> | <u>100.4</u> | <u>79.4</u> | 1028.1 |
| Roseta | 3.5 | 0.3 | 2.6 | 2.2 | 1.0 | 1.0 | 3.1 | 0.0 | <u>78.3</u> | 92 |
| Suculenta | 45.4 | 36.0 | 18.7 | 1.2 | 0.0 | 9.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 110.8 |
| Touceira | 70.8 | 85.2 | 24.8 | 99.2 | 166.4 | 51.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 497.4 |
| Hemiparasita | 0.0 | 35.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 35.2 |

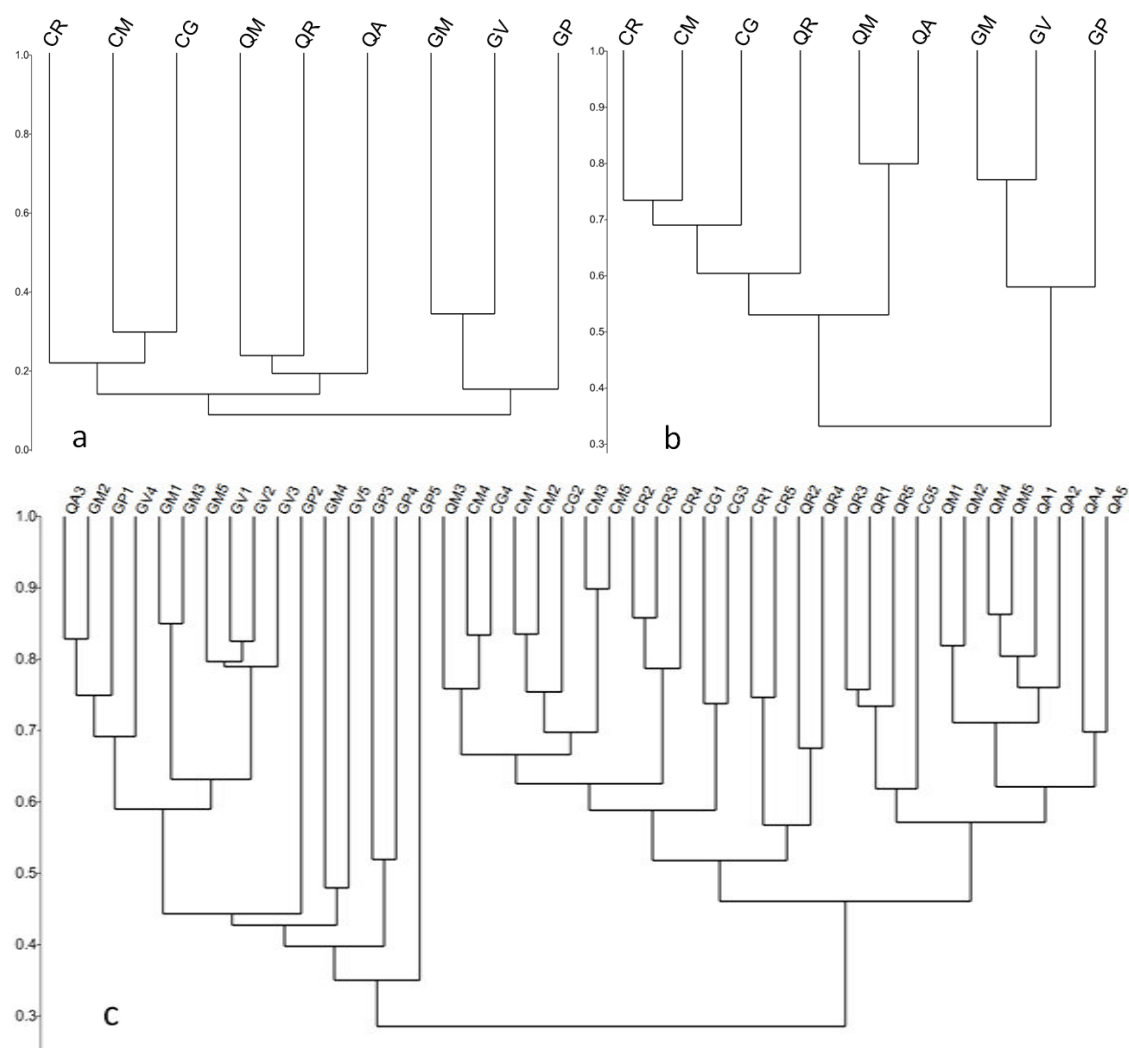


Figura 1 – Análises de agrupamentos baseadas em: a) presença/ausência de espécies amostradas em nove afloramentos (Jaccard/UPGMA; coeficiente de correlação cofenética = 0.897); b) cobertura vegetal dos grupos funcionais amostrados em nove afloramentos (Bray-Curtis/UPGMA; coeficiente de correlação cofenética = 0.842); c) cobertura vegetal dos grupos funcionais amostrados em 45 transectos (Bray-Curtis/UPGMA; coeficiente de correlação cofenética = 0.763). C: cangas; G: granitoides; Q: quartzitos. As identificações dos códigos das localidades estão na Tab. 1.

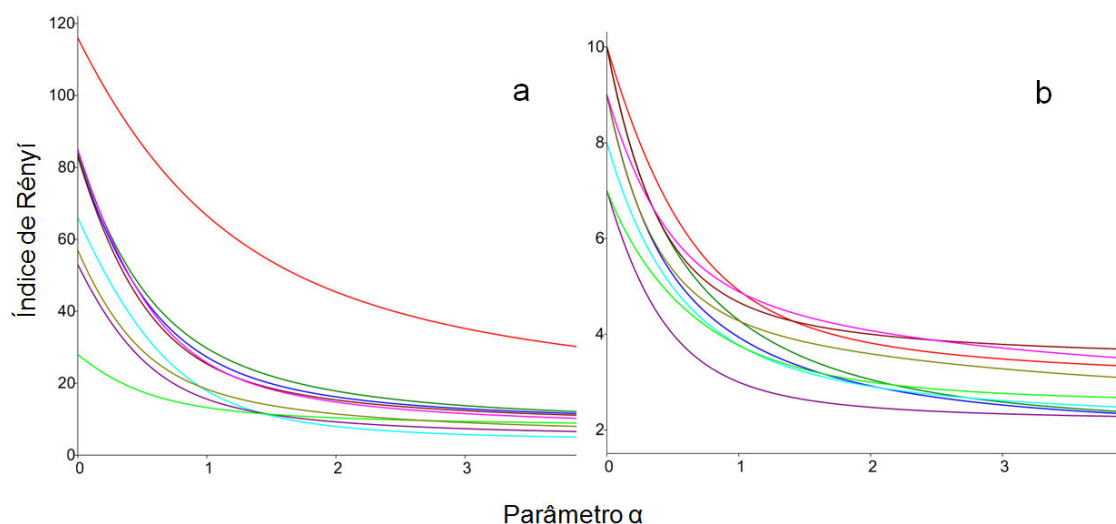


Figura 2 – Perfis de diversidade de comunidades de plantas baseados em abundância de espécies (a) e abundância dos grupos funcionais (b) em nove afloramentos rochosos, Quadrilátero Ferrífero, MG. Cada linha representa o perfil de um afloramento, assim: vermelho=QR; azul escuro=QM; verde escuro=QA; verde oliva=CM; marrom= CR; rosa=CG; azul claro=GM; roxo= GV; verde claro=GP. Os intervalos de confiança não foram representados.

Os solos associados aos afloramentos foram muito rasos (medianas < 4 cm), entretanto foram amostrados setores com solos mais desenvolvidos, atingindo valores máximos de profundidade acima de 30 cm (Tab. 3). Foram encontrados níveis muito baixos de fertilidade, típico de solos desenvolvidos em sistemas rochosos do leste do Brasil (ver Benites *et al.*, 2007). Nas cangas ocorreu a maior quantidade de tipos de substrato: lajeado, conglomerado, estruturado, pedregoso e matacões. Nos quartzitos foram observados os tipos: lajeado, blocos inclinados, fraturado e pedregoso e nos granitóides: lajeado, fraturado e depressões/concavidades. Os maiores valores para a variável “heterogeneidade do substrato” foram observados nos quartzitos QR e QM, os granitóides apresentaram os menores valores (Tab. 3). Esses resultados ressaltaram as diferenças macroestruturais entre os litotipos. Para os granitóides, as superfícies são mais lisas, predominando o tipo lajeado, onde os solos são extremamente rasos ou predominantemente ausentes. Entre 45% e 65% das amostras resultaram em superfícies sem a presença de solo (Fig. 3). As manchas de solos um pouco mais desenvolvidos foram associadas aos clones de espécies poiquiloídricas e às irregularidades na rocha, como depressões ou grandes fendas. Os quartzitos QR e QM exibem a superfície mais heterogênea, resultado do arranjo espacial dos blocos inclinados de quartzito, dispostos

em formato de “serrote”. Os solos mais profundos, atingindo 57 cm no QR, foram observados entre os blocos, ambiente ao qual estiveram associadas às arvoretas.

Nas cangas predominam substratos muito rugosos na escala centimétrica (Carmo *et al.*, submetido), porém, a superfície do afloramento é menos heterogênea, quando comparada a dos quartzitos devido à menor proporção de estruturas rochosas salientes ou a macro irregularidades como fendas ou grandes depressões. Nas cangas predominam os tipos de substratos conglomerado e estruturado e os solos foram os mais rasos entre todos os afloramentos, onde mais de 95% das amostras atingiram profundidades de até 5.7 cm (Fig. 3).

Na PCA somente os dois primeiros componentes foram retidos para a análise, pois obtiveram autovalores maiores do que os estimados pelo modelo *broken-stick* (Fig. 4). O primeiro componente da PCA explicou 38% da variância dos dados e o gradiente de ordenação separou os granitóides das cangas e quartzitos (Fig. 5). Cinco variáveis exibiram associação significativa com esse componente: precipitação média anual (0.88); temperatura média anual (-0.86); tipos de substrato (0.79); solo CV (-0.74); e profundidade do solo (0.58). O segundo componente representou 24% da variância dos dados, separando o granito GP e a maioria dos transectos dos quartzitos QR e QM das cangas e da maioria dos transectos dos afloramentos de gnaiss e do quartzito AL. Apenas três variáveis foram significativamente correlacionadas a esse eixo. Duas dessas apresentaram forte correlação com o componente II: inclinação do substrato (0.88) e heterogeneidade do substrato (0.79). A outra variável foi inclinação do substrato CV (-0.58).

A matriz da DCA foi composta por 42 espécies, representando o conjunto das oito plantas com maior cobertura vegetal em cada afloramento. Esse conjunto atingiu entre 71% (quartzito QR) e 88% (granito GP) da cobertura total mensurada (Anexo). Os afloramentos de canga e os granitóides foram posicionados de maneira mais agregada (Fig. 6). Um padrão um pouco distinto foi encontrado para os afloramentos de quartzito, onde RM se distanciou dos demais.

Tabela 3 – Parâmetros edáficos e climáticos em nove afloramentos rochosos, Quadrilátero Ferrífero, MG. C: cangas; G: granitóides; Q: quartzitos. As identificações dos códigos das localidades estão na Tab. 1.

| Parâmetros | CM | CR | CG | QR | QM | QA | GM | GV | GP |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Profundidade do solo (cm) | | | | | | | | | |
| Mínimo | 0.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Máximo | 12 | 13.6 | 6.4 | 57 | 34.6 | 39 | 41 | 21 | 36 |
| Média | 1.6 | 1.7 | 1.4 | 7.2 | 5.3 | 3.9 | 2.9 | 2.0 | 2.1 |
| Mediana | 1 | 1.1 | 0.9 | 4 | 3.5 | 2.4 | 0 | 0.6 | 0 |
| Coefficiente de variação | 111.5 | 107.8 | 97.3 | 130.4 | 123.7 | 144.7 | 205.7 | 157.8 | 255.8 |
| Inclinação da superfície (°) | | | | | | | | | |
| Mínimo | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Máximo | 56 | 34 | 42 | 82 | 89 | 48 | 74 | 52 | 70 |
| Média | 14.2 | 7.9 | 9.7 | 24.4 | 21.6 | 8.9 | 10.4 | 11.1 | 16.1 |
| Mediana | 14 | 5 | 8 | 24 | 19 | 5 | 6 | 7 | 14 |
| Coefficiente de variação | 70.9 | 88.9 | 90.0 | 76.0 | 83.6 | 110.3 | 118.5 | 100.1 | 73.1 |
| Heterogeneidade do substrato (média) | 28.9 | 13.8 | 18.3 | 101.2 | 76.2 | 19.4 | 7.1 | 11 | 19.7 |
| Tipos de substrato (n°) | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| Carbono orgânico (média; dag/kg) | 4.5 | 14.7 | 12.2 | 3.3 | 2.8 | 2.6 | 3.2 | 4.3 | 4.0 |
| Capacidade de troca catiônica (média; cmolc/dm ³) | 2.0 | 3.3 | 2.8 | 1.7 | 1.6 | 1.3 | 1.2 | 1.3 | 1.8 |
| Precipitação média anual (mm/a) | 1 610 | 1 563 | 1 666 | 1 515 | 1 601 | 1 584 | 1 469 | 1 471 | 1 380 |
| Temperatura média anual (mm/a) | 17.1 | 17.7 | 16.1 | 18.4 | 17.2 | 17.5 | 18.8 | 18.9 | 20.7 |

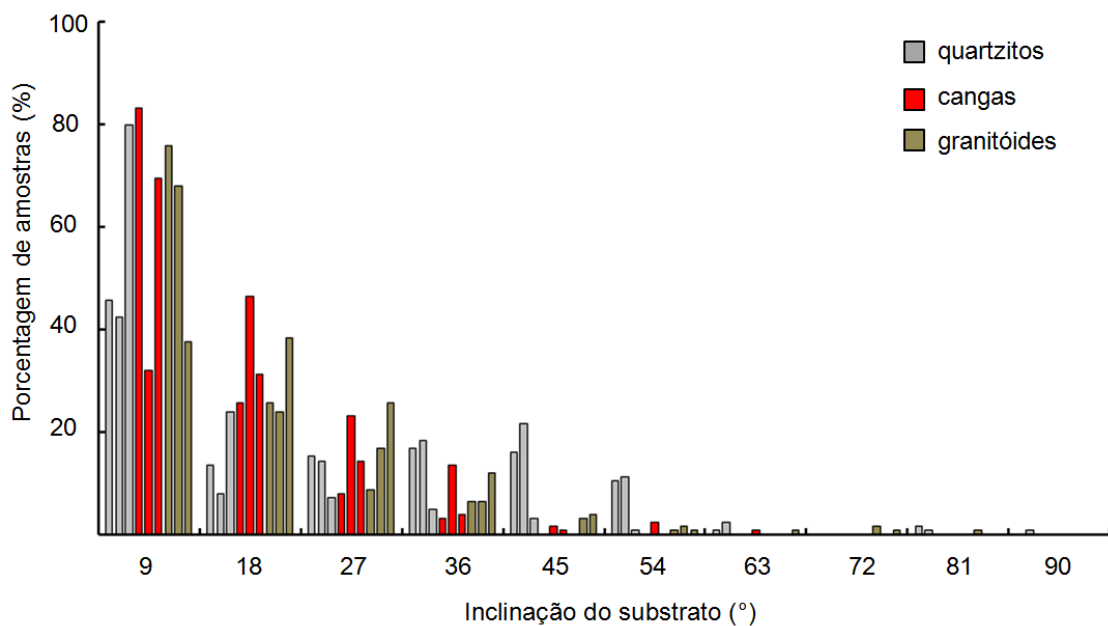
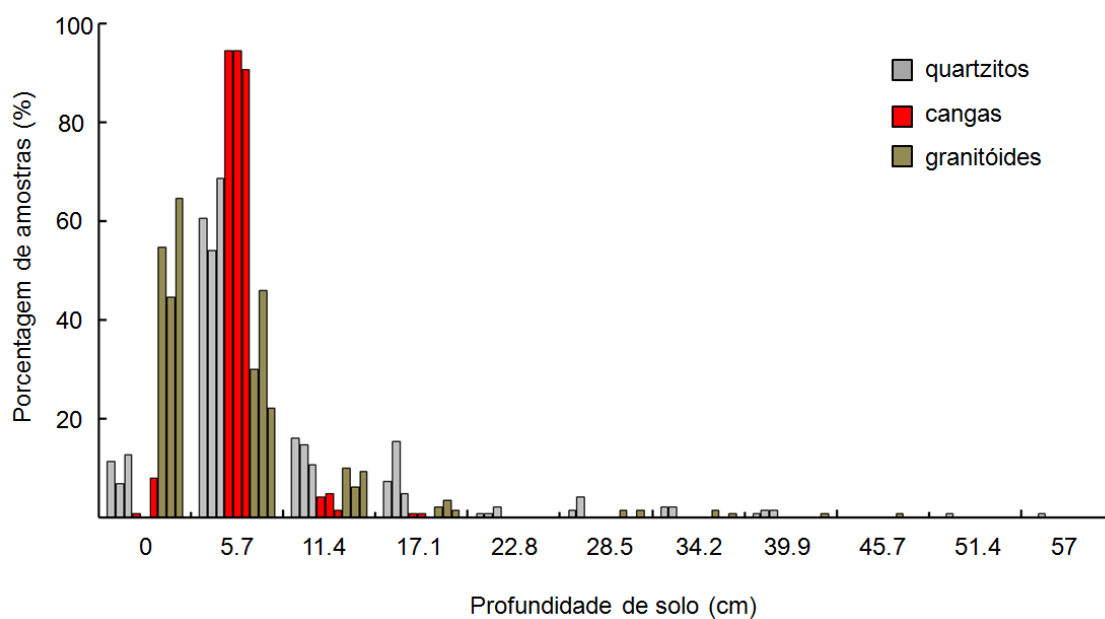


Figura 3 – Distribuição do número de amostras (n=150 por afloramento) por classes de profundidade do solo e de inclinação do substrato em nove afloramentos rochosos, Quadrilátero Ferrífero, MG.

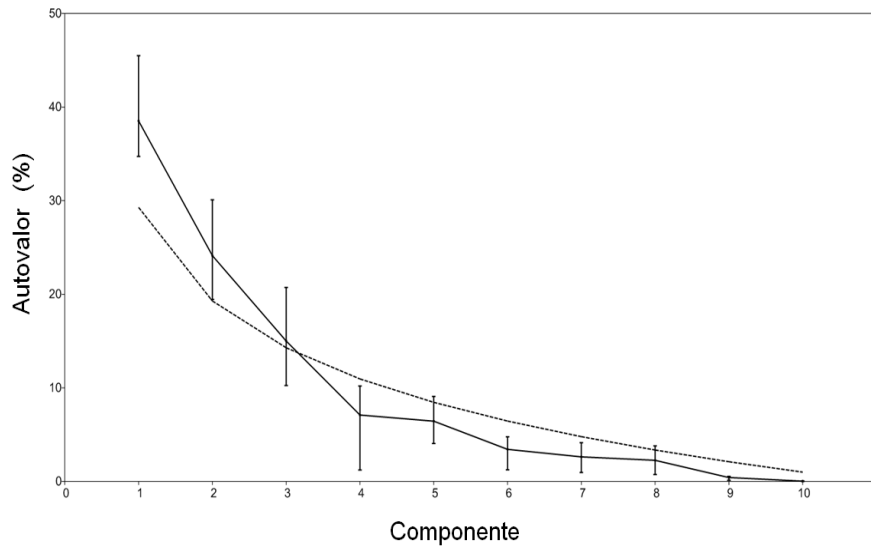


Figura 4 - Autovalores (barra vertical, IC 95%) dos componentes principais baseados em 11 variáveis abióticas (n=45 transectos) amostradas em nove afloramentos rochosos, Quadrilátero Ferrífero, MG. Linha pontilhada: Autovalores estimados a partir de um modelo *broken-stick*.

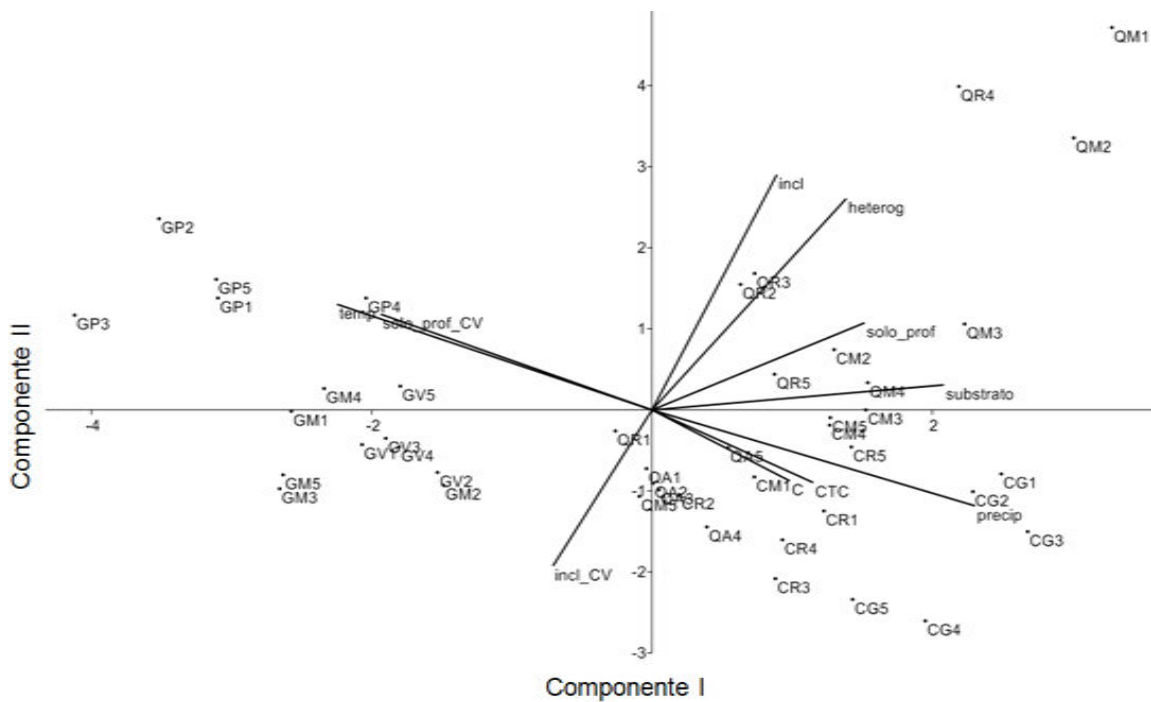


Figura 5 – Análise de Componentes Principais de 10 variáveis abióticas (n=45 transectos) amostradas em nove afloramentos rochosos, Quadrilátero Ferrífero, MG. C: cangas; G: granitoides; Q: quartzitos. As identificações dos códigos das localidades estão na Tab. 1.

O eixo I da DCA (autovalor 0.76) separou os granitóides dos quartzitos e cangas. Associados a esses dois grupos estão plantas tanto especialistas em sistemas rochosos quanto generalistas e de ampla distribuição geográfica. Na direita deste eixo posicionaram-se as especialistas em sistemas rochosos como *Dyckia sordida* (Bromeliaceae) e as poiquiloídricas *Vellozia albiflora* (Velloziaceae) e *Trilepis lhotzkiana* (Cyperaceae). Essas espécies apresentaram as maiores coberturas entre os granitóides. Além destas ocorreram várias espécies típicas de fisionomias savânicas e de ampla distribuição geográfica como as gramíneas *Trachypogon spicatus* e *Melinis minutiflora*, uma espécie exótica e invasora, e as arvoretas *Bredemeyera floribunda* (Polygalaceae), *Dalbergia miscolobium* (Fabaceae) e *Tocoyena formosa* (Rubiaceae). Na esquerda do eixo I foi encontrado um maior número de plantas especialistas em sistemas rochosos e com distribuição geográfica mais restrita. Entre elas estão a poiquiloídrica *Vellozia compacta*, as arbustivas *Stachytarpheta glabra* (Verbenaceae) e *Lychnophora pinaster* (Asteraceae), além de três espécies endêmicas das cangas do QF (Carmo & Jacobi, 2012a): *Paspalum brachytrichum* (Poaceae), *Jacquemontia linarioides* (Convolvulaceae) e *Mimosa calodendron* (Fabaceae). Entre as espécies generalistas e de ampla distribuição geográfica estão *Vochysia thyrsoidea* (Vochysiaceae) e *Eriope macrostachya* (Lamiaceae). O eixo II (autovalor 0.59) separou as cangas dos afloramentos onde predominam os minerais silicatos (quartzitos e granitóides).

Considerando as 42 espécies com maior cobertura vegetal, a canga foi o litotipo que abrigou a maior biomassa de plantas com distribuição restrita ao Quadrilátero Ferrífero, atingindo 42% do total. Os quartzitos atingiram 3% e os granitóides 0,01% (Fig. 7). Considerando a cobertura vegetal de todas as espécies inventariadas, nas cangas as espécies endêmicas do QF representaram 33% e nos quartzitos representaram 4%. Nenhuma espécie foi citada como ameaçada na lista federal. Apenas *L. pinaster* foi citada na lista da flora ameaçada de extinção de Minas Gerais, na categoria vulnerável.

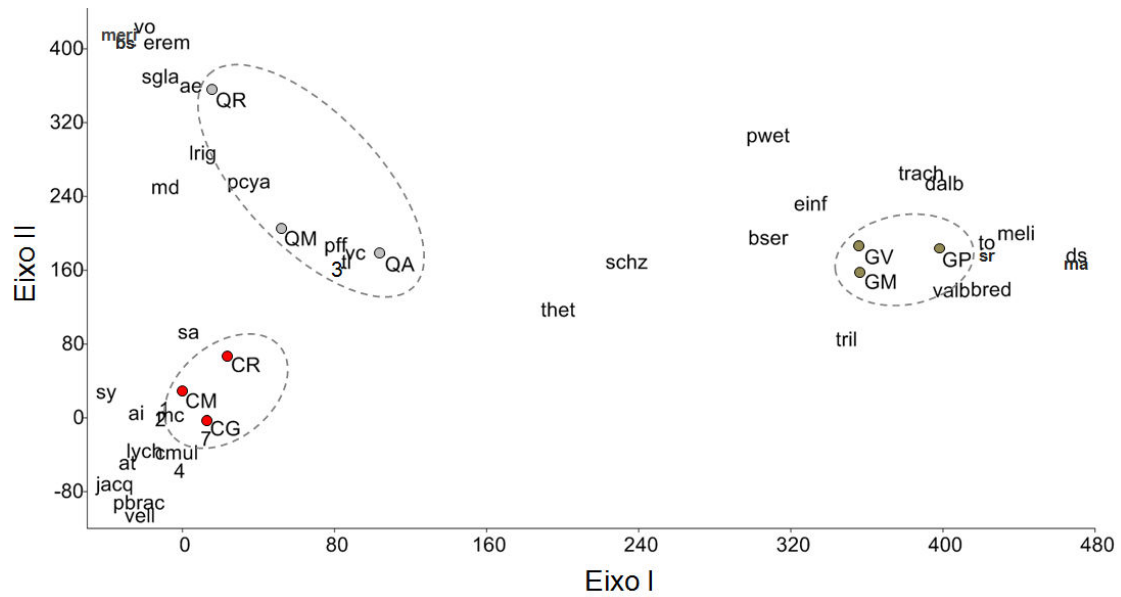


Figura 6 – Análise de Correspondência Distendida de comunidades de plantas em nove afloramentos rochosos, Quadrilátero Ferrífero, MG. C: cangas; G: granitóides; Q: quartzitos. As identificações dos códigos das localidades estão na Tab. 1. As identificações dos códigos das espécies estão no anexo.

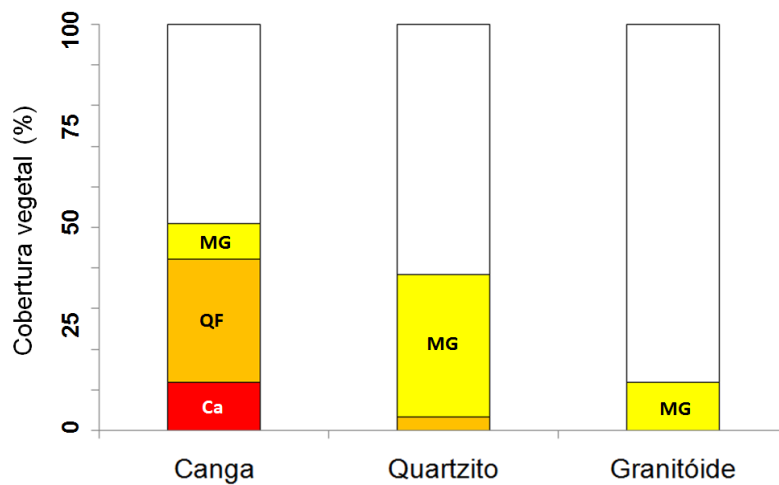


Figura 7 – Níveis de endemismos por litotipo em comparação com a cobertura vegetal total das 42 espécies da matriz DCA. Ca (vermelho): espécies com distribuição restrita as cangas do Quadrilátero Ferrífero; QF (laranja): espécies com ocorrência apenas para o Quadrilátero Ferrífero, excluindo as endêmicas das cangas; MG (amarelo): espécies com distribuição geográfica apenas em Minas Gerais, excluindo as endêmicas do Quadrilátero Ferrífero.

Discussão

Nosso estudo identificou que as comunidades investigadas apresentaram elevada diversidade beta. Porém, as comunidades foram floristicamente mais similares quando ocorreram em afloramentos de mesma origem litológica, independentemente da distância geográfica. Esse padrão foi muito nítido quando analisada a similaridade por tipos funcionais. Carmo *et al.* (submetido; capítulo 4) testaram se o aumento na similaridade florística de comunidades associadas a litotipos distintos estaria correlacionado a proximidade geográfica entre os mesmos. Esses autores não encontraram estrutura espacial significante entre aquelas comunidades e apontaram que as alterações observadas na composição de espécies e na estrutura das comunidades estariam associadas a fatores determinísticos.

O gradiente representado pelo eixo I da DCA foi condicionado por parâmetros topográficos como os tipos de substratos e a profundidade do solo. Esses parâmetros, por sua vez, estão relacionados com a heterogeneidade espacial dos afloramentos, discriminando os de superfícies mais lisas, os granitóides, dos afloramentos mais heterogêneos, cangas e quartzitos. Nas comunidades desenvolvidas sobre os granitóides predominaram espécies monocotiledôneas com tolerância a dessecação. Nos quartzitos predominam as monocotiledôneas graminóides e as angiospermas subarborescentes e arbustivas. Nas cangas, os indivíduos subarborescentes e arbustivos, seguidos pelos graminóides compõem a maior parcela da cobertura vegetal.

Considerando o gradiente formado apenas pela variável “heterogeneidade do substrato”, o quartzito QR representou o ponto extremo. De fato, a comunidade associada ao afloramento QR se assemelhou fisionomicamente e estruturalmente a alguns “cerrados rupestres” descritos em Moura *et al.* (2011), uma vez que também apresentou cobertura arbórea entre 5% a 20% e estrato arbustivo-herbáceo conspicuo. Então, a conformação estrutural desse afloramento, que resultou em condições mais favoráveis para o desenvolvimento das arvoretas, favoreceu o desenvolvimento de uma comunidade relativamente distinta das observadas nos outros quartzitos.

Fatores edáficos de natureza química, não mensurados no presente estudo, podem também ser relacionados ao gradiente observado na DCA, particularmente o do Eixo II. Populações de algumas espécies como *Dyckia sordida*, *Barbacenia sellovii* e as gramíneas *Apochloa euprepes* e *Paspalum* aff. *scalare* são muito frequentes em afloramentos compostos predominantemente por minerais silicatos (Longhi-Wagner & Welker, 2012; Capítulos 2 e 4). Por outro lado, além das três espécies endêmicas das

cangas, outras três foram posicionadas próximas aos afloramentos ferruginosos: duas espécies endêmicas do QF (Teles & Hattori, 2012), *L. pinaster* e *Chromolaena multiflosculosa* (Asteraceae); e *Acianthera teres* (Orchidaceae) que, apesar de não ocorrerem exclusivamente nas cangas, possuem populações muito mais abundantes nestes afloramentos, quando comparado aos quartzitos e granitóides (Jacobi *et al.*, 2008; Vincent & Meguro, 2008; Messias *et al.*, 2012; 2013). Além disso, já foi observado que os valores de alguns parâmetros de fertilidade do solo, como Ca, K, Na e N, tendem a aumentar a partir dos quartzitos, seguidos pelos granitóides e pelas cangas, embora não foi encontrada correlação significativa com o gradiente de ordenação (Capítulo 4). Por outro lado, alguns estudos que investigaram as relações solo-vegetação entre afloramentos de quartzito e cangas apontaram forte correlação entre a cobertura de espécies e algumas variáveis químicas dos solos (Vincent & Meguro, 2008; Messias *et al.*, 2012).

Apesar das variáveis climáticas exibirem forte associação com o componente principal, não foi possível encontrar uma interpretação ecológica que relacionasse o gradiente de ordenação e o posicionamento das espécies observadas na DCA. As cangas foram associadas às maiores médias anuais de precipitação, entretanto abrigaram as maiores coberturas de espécies suculentas, incluindo a cactácea endêmica desses afloramentos, *Arthrocerus glaziovii*. No outro extremo, os granitóides GV e GP foram associados às maiores temperaturas e aos menores índices de precipitação, porém a cobertura das espécies poiquiloídricas foi similar a mensurada nas cangas CR e CG.

Possivelmente as variáveis utilizadas no presente estudo - “precipitação” e “temperatura” - não retrataram adequadamente as reais condições climáticas tanto regionais quanto locais. O granito GP, por exemplo, localiza-se mais a leste do Quadrilátero, onde predomina os maiores fragmentos de Floresta Atlântica da região e as maiores precipitações médias anuais (IBRAM, 2003; Davis *et al.*, 2004). Além disso, as condições microclimáticas em afloramentos tendem a ser bem distintas das condições extra-afloramento, resultado da interação entre a heterogeneidade do substrato, radiação solar e disponibilidade de água (Szarzynsky, 2000). As condições xéricas são mais extremas nos granitóides, uma vez que a matriz rochosa é muito densa, com baixa porosidade e reduzida permeabilidade (Bremer & Sander, 2000; IBRAM, 2003). Nessa situação, boa parcela da água pluvial não é retida pelo substrato, sendo rapidamente perdida por escoamento superficial (Szarzynsky, 2000). Essas condições extremas também podem estar relacionadas à maior ocorrência proporcional de espécies

generalistas observada nos granitóides. Gibson *et al.* (2012) sugerem que espécies generalistas tornam-se mais freqüentes com o aumento dos ambientes xéricos, como resultado da elevada tolerância fisiológica dessas plantas, ou por acúmulo de eventos estocásticos de extinção de espécies mais especializadas, ou como resultado da combinação de ambos os mecanismos.

A definição de qual comunidade foi mais diversa dependeu tanto do algoritmo que estimou uma medida de diversidade (Magurran, 2011) quanto do tipo de variável utilizada: abundância de indivíduos *versus* abundância de tipos funcionais. No presente estudo foi observado que os afloramentos mais heterogêneos apresentaram comunidades mais diversas. Os granitóides sempre foram os menos diversos. Entretanto abrigam uma comunidade altamente especializada, onde predominam os clones de plantas poiquiloídricas, ou tolerantes a dessecação, considerada uma das adaptações ecofisiológicas mais espetaculares encontradas em plantas vasculares (Porembski & Barthlott, 2000). Entre as cangas e os quartzitos, não houve um padrão claro, com variações dependendo do parâmetro alfa. Uma exceção foi o quartzito RM, sendo o mais diverso na análise por abundância de indivíduos.

A diversidade, a importância das espécies raras para a estrutura das comunidades, somadas ao elevado grau de ameaça devido a perda e degradação de áreas naturais (Jacobi *et al.*, 2011) classificam as cangas como ambientes que devem ser priorizados nas políticas públicas de conservação da biodiversidade. Além delas, a conservação dos afloramentos de quartzito e os granitóides representa uma ação estratégica para a manutenção da biodiversidade e de serviços ecossistêmicos no Quadrilátero Ferrífero. A inclusão das espécies endêmicas do QF nas listas da flora ameaçada de extinção também representa uma ação prioritária e estratégica de gestão ambiental, podendo subsidiar tomadas de decisão que tratam da utilização racional e da conservação dos recursos naturais (Ginsburg, 2001; Callmander *et al.*, 2005).

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas concedidas aos autores, a Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao CNPq e a US Fish and Wildlife Service pelo suporte financeiro; a CEMIG S.A. pela autorização de desenvolvimento da pesquisa na Estação Ambiental PETI; e ao Instituto Estadual de Florestas (IEF-MG) pelas licenças concedidas. Agradecimento especial aos biólogos que auxiliaram na coleta de dados em campo:

Felipe do Carmo, Ericson Silva, Leonardo Cotta, Lucas Perillo, Gustavo Heringer, Iara Campos, Matheus Toshiba e Bruno Falcão.

Referencias Bibliográficas

- Alves, R. J. V. & Kolbek, J. 1993. Penumbraal rock and sand communities in campo rupestre sites in Brazil. *Journal Vegetation Science*, 4: 357-366.
- Balslev, H. & Luteyn, J. 1992. *Paramo: an Andean ecosystem under human influence*. Academic Press, London.
- Benites, V.M.; Schaefer, C.E.G.R.; Simas, F.N.B. & Santos, H.G. 2007. Soils associated with rock outcrop in the Brazilian mountains ranges Mantiqueira and Espinhaço. *Revista Brasileira de Botânica*, 30: 569-577.
- Bremer, H. & Sander, H. 2000. Inselbergs: Geomorphology and Geocology. In: Porembski, S. & Barthlott, W. (eds.) *Inselbergs: biotic diversity of isolated rock outcrops in Tropical and Temperate regions*. Springer, New York. 07-35 pp.
- 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: 1047-1050.
- Carmo, F.F. & Jacobi, C.M. 2012a. Plantas vasculares sobre cangas. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Eds.) *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. 31-42 pp.
- Carmo, F.F. & Jacobi, C.M. 2012b. As cangas do Quadrilátero Ferrífero. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (Eds.) *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. 43-50 pp.
- Carmo, F.F.; Carmo, F.F.; Campos, I.C. & Jacobi, C.M. 2012. Cangas: ilhas de ferro estratégicas para a conservação. *Ciência Hoje*, 295: 48-53.
- Carmo, F.F., Campos, I.C. & Jacobi, C.M. Effects of fine-scale surface heterogeneity on rock outcrop plant communities. *Journal of Vegetation Science* (submetido).
- Carvalho-Filho, A; Curi, N.; Shinzato, E. 2010. Relações solo-paisagem no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45: 903-906.
- Cornelissen, J.H.C., Lavorel, S., Garnier, E., Diáz, S., Buchmann, N., Gurvich, D.E., Reich, P.B., Steege, H., Morgan, H.D., Heijden, M.G.A., Pausas, J.G. & Poorter, H. 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 51: 335-380.

- 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.
- Dorr II, J. v. N. 1969. *Physiographic, stratigraphic and structural development of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. USGS. Prof. Paper, 641-A, Washington.
- Drummond, G.M., Martins, C.S., Machado, A.B.M., Sebaio, F.A. & Antonini, Y. (Orgs.). 2005. *Biodiversidade em Minas Gerais - Um Atlas para Sua Conservação*. 2ª ed. Belo Horizonte, Fundação Biodiversitas. 222 p.
- Fernandes, M.L.S. 2007. Minerais Formadores de Rocha. In: Sgarbi, G.N.C. (org.). *Petrografia macroscópica das rochas ígneas, sedimentares e metamórficas*. Ed. UFMG, Belo Horizonte. 559 p.
- Fiaschi, P. & Pirani, J.R. 2009. Review of plant biogeographic studies in Brazil. *Journal of Systematics and Evolution*, 47: 477-496.
- Gibson, N., Meissner, R., Markey, A.S., Thompson, W.A. 2012. Patterns of plant diversity in ironstone ranges in arid south western Australia. *Journal of Arid Environments*, 77:25-31.
- Ginsburg, J. 2001. The Application of IUCN Red List Criteria at Regional Levels. *Conservation Biology*, 15: 1206-1212.
- Giulietti, A.M., Pirani J.R. & Harley, R.M. 1997. Espinhaço Range Region, Eastern Brazil. In: S.D. Davis, V.H. Heywood, O. Herrera-MacBryde, J. Villa-Lobos & A.C. Hamilton (eds.) *Centres of plant diversity. A guide and strategies for conservations, V. 3. The Americas*. pp. 397-404. WWF/IUCN, Cambridge.
- 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.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1): 9pp.
- Hijmans, R., Cameron., S., Parra. J., Jones, P., Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25:1965-1978.
- Huggett, R.J. 1995. *Geocology an evolutionary approach*. Routledge, London. 320 p.

- 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.
- Jackson, D.A. 1993. Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. *Ecology*, 74: 2204-2214.
- 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. & Vincent, R.C. 2008. Phytosociological study of a plant community on ironstone as support for recovery of a mined area in the Iron Quadrangle, MG. *Revista Árvore*, 32: 345-353.
- Jacobi, C.M., Carmo, F.F. & Campos, I.C. 2011. Soaring Extinction Threats to Endemic Plants in Brazilian Metal-Rich Regions. *Ambio*, 40: 540-543.
- Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. 2012. (Eds.) *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. 222 p.
- Kruckeberg, A.R. 2004. *Geology and Plant Life: The Effects of Landforms and Rock Types on Plants*. University of Washington Press. Seattles, USA. 363 p.
- Lista de Espécies da Flora do Brasil. 2014. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>
- Longhi-Wagner, H.M. & Welker, C.A.D. 2012. Diversity, chorology and conservation of grasses (Poaceae) in Serra do Ouro Branco, State of Minas Gerais, Brazil. *Phytotaxa*, 65: 7-22.
- Lovett-Doust, L. 1981. Population dynamics and local specialization in a clonal perennial (*Ranunculus repens*). I. The dynamics of ramets in contrasting habitats. *Journal of Ecology*, 69: 743-755.
- Magurran, A.E. 2011. *Medindo a Diversidade Biológica*. Curitiba. Ed. UFPR. 261 pp.
- Martinelli, G. 2007. Mountain biodiversity in Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, 30: 587-597.
- Medina, B.M.O., Ribeiro, K.T. & Scarano, F.R. 2006. Plant-plant and plant-topography interactions on a rock outcrop at high altitude in southeastern Brazil. *Biotropica*, 38:1-7.
- Meirelles, S.T. 1996. *Estrutura da comunidade e características funcionais dos componentes da vegetação de um afloramento rochoso em Atibaia – SP*. Tese de doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

- Melo, A.S. 2008. What do we win ‘confounding’ species richness and evenness in a diversity index? *Biota Neotropica*, 8: 21-27.
- Messias, M.C.T.B., Leite, M.G.P., Meira-Neto, J.A.A. & Kozovits, A.R. 2012. Fitossociologia de campos rupestres quartzíticos e ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Acta Botanica Brasilica*, 26: 230-242.
- Messias, M.C.T.B., Leite, M.G.P., Meira-Neto, J.A.A. & Kozovits, A.R. 2013. Soil-vegetation relationship in quartzite and ferruginous Brazilian rocky outcrops. *Folia Geobotanica*, 48:509-521.
- Mittermeier, R.A., Gil, P.R., Hoffman, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C.G., Lamoreux, J. & Fonseca, G.A.B. 2004. *Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*. CEMEX & Agrupación Sierra Madre, México.
- Moura, I., O., Ribeiro, K.T. & Takahasi, A. 2011. Amostragem da vegetação em ambientes rochosos. In: Felfili, J.M., Eisenlohr, P.V., Melo, M.M.R.F., Andrade, L.A. & Meira-Neto, J.A.A. (Eds.) *Fitossociologia no Brasil, métodos e estudos de casos. Vol. I*. Viçosa. Ed. UVF. 255-294 pp.
- Mourão, M.A.A. 2007. *Caracterização hidrogeológica do aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG*. Tese. IGC – UFMG. 297 f.
- Novais, R.F., Alvarez, V.V.H., Barros, N.F., Fontes, R.L.F., Cantarutti, R.B. & Neves, J.C.B. (Eds.). 2007. *Fertilidade do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, MG. 1017 p.
- Peres-Neto, P.R., Jackson, D.A. & Somers, K.M. 2003. Giving meaningful interpretation to ordination axes: assessing loading significance in principal component analysis. *Ecology*, 84: 2347–2363.
- Porembski, S. & Barthlott, W. (eds.). 2000. *Inselbergs: biotic diversity of isolated rock outcrops in Tropical and Temperate regions*. Springer, New York. 37-48 pp.
- Rapini, A; Ribeiro, P.L. & Pirani, J.B. 2008. A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. *Megadiversidade*, 4: 16-23.
- Ribeiro, K.T. & Medina, B.M.O. 2002. Estrutura, dinâmica e biogeografia das ilhas de vegetação sobre rocha do Planalto do Itatiaia, RJ. *Boletim do Parque Nacional do Itatiaia*, 10: 1-82.
- 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.
- Scarano, F.R. 2007. Rock outcrop vegetation in Brazil: a brief overview. *Revista Brasileira de Botânica*, 30: 561-568.
- Silva, A.C., Horák, I., Cortizas, A.M., Vidal-Torrado, P., Racedo, J.R., Graziotti, P.H., Silva, E.B. & Ferreira, C.A. 2009. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional – MG. I Caracterização e classificação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33: 1385-1398.
- Spier, C.A., Barros, S.M. & Rosière, C.A. 2003. *Geology and geochemistry of the Águas Claras and Pico Iron Mines, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Mineralium Deposita*, 38: 751-774.
- Szarzynsky, J. 2000. Xeric islands: environmental conditions on Inselbergs. In: Porembski, S. & Barthlott, W. (eds.) *Inselbergs: biotic diversity of isolated rock outcrops in Tropical and Temperate regions*. Springer, New York. 37-48 pp.
- Teles, A.M. & Hattori, E.K.O. 2012. Asteraceae. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. (orgs.) *Diversidade Florística nas Cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. pp. 82-90.
- Tóthmérész, B. 1995. Comparison of different methods for diversity ordering. *Journal of Vegetation Science*, 6: 283-290.
- Vincent, R. C. & Meguro, M. 2008. Influence of soil properties on the abundance of plant species in ferruginous rocky soils vegetation, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, 31: 377-388.

Anexo – Lista das 42 espécies com a maior cobertura vegetal em nove afloramentos rochosos, Quadrilátero Ferrífero, MG. CM: canga Rola Moça; CR: canga Serra da Moeda; CG: canga Serra de Gandarela; QR: quartzito Rola Moça; QM: quartzito S. Moeda; QA: quartzito Serra Água Limpa; GM: gnaiss Moeda; GV: gnaiss Moeda; GP: granito PETI; QF: Quadrilátero Ferrífero.

| Código | Tipo Funcional | Espécie | Distribuição Geográfica | Cobertura vegetal (cm ² x 10 ⁻³) | | | | | | | | | |
|-------------|----------------|---|-------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| | | | | CM | CR | CG | QR | QM | QA | GM | GV | GP | Total |
| lych | esclerófito | <i>Lychnophora pinaster</i> Mart. (Asteraceae) | QF | 326.4 | 191.7 | 190.4 | 0 | 58.4 | 0.7 | 0 | 0 | 0 | 767.8 |
| vc | poiquiloídrico | <i>Vellozia compacta</i> Mart. ex Schult. & Schult. f. (Velloziaceae) | MG | 2.7 | 10.9 | 43.4 | 8.5 | 156.3 | 229.9 | 5.1 | 15.2 | 0 | 472.2 |
| Irig | touceira | <i>Lagenocarpus rigidus</i> Kunth (Cyperaceae) | Extra Brasil | 70.8 | 24.1 | 17.6 | 99.2 | 166.3 | 50.9 | 0 | 0 | 0 | 429.1 |
| 7 | graminóide | <i>Axonopus siccus</i> (Nees) Kuhl. (Poaceae) | Extra Brasil | 116.5 | 1.1 | 173.8 | 1.2 | 60.7 | 12.8 | 5.0 | 4.3 | 0.2 | 375.8 |
| valb | poiquiloídrico | <i>Vellozia albiflora</i> Pohl (Velloziaceae) | MG, ES, RJ | 0 | 72.8 | 0 | 0 | 13.3 | 0.0 | 146.6 | 71.5 | 64.8 | 369.1 |
| thet | esclerófito | <i>Tibouchina heteromalla</i> (D.Don) Cogn. | Leste do Brasil | 45.5 | 24.4 | 75.4 | 39.5 | 27.6 | 56.2 | 12.5 | 21 | 16.8 | 318.9 |
| erem | arvoreta | <i>Eremanthus incanus</i> (Less.) Less. (Asteraceae) | BA, MG | 0 | 0 | 0 | 176.4 | 23.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 200.1 |
| ae | graminóide | <i>Apochloa euprepes</i> (Renvoize) Zuloaga & Morrone (Poaceae) | MG | 0 | 0 | 1.9 | 107 | 74.1 | 8.7 | 0 | 0 | 0 | 191.6 |
| ai | graminóide | <i>Andropogon ingratus</i> Hack. (Poaceae) | Leste do Brasil | 79.1 | 93.2 | 3.1 | 9.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 185.3 |
| mc | esclerófito | <i>Mimosa calodendron</i> Mart. ex Benth. (Fabaceae) | Cangas QF | 0 | 153.4 | 9.757 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 163.1 |
| schz | graminóide | <i>Schzachyrium</i> sp. (Poaceae) | - | 20.7 | 0 | 0 | 3.3 | 41.9 | 58.2 | 16 | 12.1 | 0 | 152.2 |
| 4 | graminóide | <i>Apochloa molinioides</i> Trin. | MG | 0 | 0 | 121.1 | 0 | 0 | 26.8 | 0 | 0 | 0 | 147.9 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|----------------|--|--------------------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|-------|
| | | (Poaceae) | | | | | | | | | | | |
| sgla | esclerófito | <i>Stachytarpheta glabra</i> Cham. (Verbenaceae) | MG | 0 | 41.2 | 0.0 | 95.6 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 136.8 |
| meli | graminóide | <i>Melinis minutiflora</i> P. Beauv. (Poaceae) | Extra Brasil | 0 | 0 | 0 | 5.9 | 0 | 0 | 18.7 | 42.8 | 34.3 | 101.9 |
| pbra | graminóide | <i>Paspalum brachytrichum</i> Hack. (Poaceae) | Cangas QF | 28.1 | 0 | 58.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 86.9 |
| tril | poiquiloídrica | <i>Trileps lhotzkiana</i> Nees (Cyperaceae) | Extra Brasil | 4.4 | 0.3 | 15.8 | 0 | 0 | 18.1 | 27.1 | 13.5 | 3.2 | 82.4 |
| cmul | esclerófito | <i>Chromolaena multiflosculosa</i> (DC.)R.M.King & H.Rob. (Asteraceae) | QF | 4.3 | 0.6 | 62.2 | 4.2 | 1.1 | 7.8 | 0 | 0.1 | 0 | 80.2 |
| ds | roseta | <i>Dyckia sordida</i> Baker (Bromeliaceae) | MG | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 78.3 | 78.3 |
| bs | erva | <i>Barbacenia sellovii</i> Goethart & Henrard (Velloziaceae) | MG | 0 | 0 | 0 | 78.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 78.2 |
| vell | poiquiloídrica | <i>Vellozia</i> sp. (Velloziaceae) | - | 0 | 0 | 73.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.9 |
| md | esclerófito | <i>Microstachys daphnoides</i> (Mart.) Mull. Arg. (Euphorbiaceae) | Leste do Brasil | 0 | 54.8 | 0.02 | 18.6 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 73.3 |
| vo | arvoreta | <i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl (Vochysiaceae) | Leste do Brasil | 0 | 0 | 0 | 70.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 70.1 |
| 2 | touceira | <i>Lagenocarpus velutinus</i> Nees (Cyperaceae) | Leste do Brasil | 0 | 61 | 7.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 68.2 |
| pff | graminóide | <i>Paspalum</i> aff. <i>scalare</i> Trin. (Poaceae) | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.3 | 56.5 | 0 | 0 | 0 | 65.9 |
| to | arvoreta | <i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K.Schum. (Rubiaceae) | Extra Brasil | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 64.9 | 0 | 64.9 |
| bs | esclerófito | <i>Baccharis serrulata</i> Pers. (Asteraceae) | Leste do Brasil | 7.7 | 3.8 | 3.3 | 6.3 | 9.1 | 16.8 | 1.1 | 0 | 15.7 | 63.9 |
| 1 | esclerófito | <i>Eriope macrostachya</i> Mart. ex | Extra Brasil | 0 | 59.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 59.8 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------------|---|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|
| | | Benth. (Lamiaceae) | | | | | | | | | | | |
| sy | esclerófito | <i>Symphopappus</i> sp. (Asteraceae) | - | 49.9 | 0 | 0 | 9.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 59.1 |
| meri | esclerófito | <i>Myrcia eriocalyx</i> DC. (Myrtaceae) | BA, MG, ES | 2.9 | 1.3 | 0 | 52.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 57.1 |
| tl | arvoreta | <i>Trembleya laniflora</i> (D.Don) Cogn. (Melastomataceae) | MG | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 56.7 | 0 | 0 | 0 | 56.7 |
| trach | graminóide | <i>Trachypogon spicatus</i> (L. f.) Kuntze (Poaceae) | Extra Brasil | 0 | 0 | 0 | 14.8 | 0 | 0 | 15.6 | 25.4 | 0 | 55.8 |
| jacq | erva | <i>Jacquemontia linarioides</i> Meisn. (Convolvulaceae) | Cangas QF | 43.2 | 0 | 11.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 55 |
| pcya | graminóide | <i>Panicum cyanescens</i> Nees (Poaceae) | Extra Brasil | 0 | 0 | 0 | 0 | 49.9 | 4.2 | 0 | 0 | 0 | 54.1 |
| at | suculenta | <i>Acianthera teres</i> (Lindl.) Borba (Orchidaceae) | MG, ES, RJ | 30.1 | 10.9 | 9.5 | 0 | 0 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 51.9 |
| sa | graminóide | <i>Sporobolus aeneus</i> (Trin.) Kunth (Poaceae) | Brasil | 17.5 | 0 | 0.5 | 0 | 33.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 51.8 |
| 3 | graminóide | <i>Andropogon leucostachyus</i> Kunth (Poaceae) | Extra Brasil | 0 | 0 | 0.06 | 0 | 0 | 48.3 | 0 | 0 | 0 | 48.3 |
| pwet | graminóide | <i>Panicum wettsteinii</i> Hack. (Poaceae) | Brasil | 3.7 | 0 | 0.2 | 20.3 | 1.2 | 9.5 | 1.2 | 0 | 11.7 | 48 |
| bred | arvoreta | <i>Bredemeyera floribunda</i> Willd. (Polygalaceae) | Extra Brasil | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23.3 | 0 | 0.3 | 23.7 |
| einf | graminóide | <i>Echinolaena inflexa</i> (Poir.) Chase (Poaceae) | BA, MG, GO | 0 | 0 | 0 | 2.1 | 8.1 | 1.3 | 9.9 | 0.08 | 0 | 21.7 |
| dalb | arvoreta | <i>Dalbergia miscolobium</i> Benth. (Fabaceae) | Brasil | 0 | 0 | 0 | 3.8 | 0 | 0 | 0 | 16.1 | 0 | 19.9 |
| sr | esclerófito | <i>Symphopappus reticulatus</i> Baker (Asteraceae) | Leste do Brasil | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.4 | 13.5 | 0 | 14 |
| ma | esclerófito | <i>Manihot</i> sp. (Euphorbiaceae) | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 13 |
| Total | | | | 853.8 | 805.5 | 879.8 | 827.1 | 735.3 | 665.3 | 282.9 | 300.9 | 238.7 | |

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elevada riqueza de espécies associada aos afloramentos investigados indica a importância desses sistemas para a manutenção da diversidade biológica do Quadrilátero Ferrífero. Os fatores edáficos/topográficos nos sistemas rochosos compõem um forte filtro ecológico, condicionando a diversidade e a estrutura das comunidades de plantas. A rugosidade do substrato foi uma forte variável preditora. Os padrões encontrados de heterogeneidade estrutural (por exemplo, rugosidade, inclinação do substrato, tipos de substrato) tendem a ser semelhantes entre afloramentos de mesma origem geológica. Na escala fina, as cangas são mais heterogêneas, seguidas pelos quartzitos e pelos granitóides. Na escala do afloramento, os quartzitos tendem a ser mais heterogêneos, seguidos pelas cangas e pelos granitóides. Entretanto, podem ocorrer semelhanças mesmo quando são de diferentes origens geológicas (por exemplo, granito em PETI e quartzito no Caraça, Capítulo 3). O aumento da heterogeneidade estrutural do substrato, tanto na escala centimétrica quanto na escala do afloramento, condicionou o aumento da biomassa (cobertura vegetal), da abundância e da riqueza de espécies e de tipos funcionais.

Os solos nesses sistemas rochosos formaram dois grupos distintos: os desenvolvidos sobre as cangas e aqueles solos desenvolvidos sobre os afloramentos de quartzito e granito-gnaiss, uma clara influência geoquímica do material de origem. Porém, as comunidades não apresentaram padrões nítidos em resposta à fertilidade do solo e as concentrações de elementos-traço. Esse interessante resultado está associado ao uso de ferramentas analíticas de avaliação da significância em métodos de ordenação ainda pouco exploradas em trabalhos focando os sistemas rochosos.

Sem dúvida, a adoção de métodos padronizados e a definição clara dos objetos de investigação foram fundamentais para os resultados encontrados. Esses são pontos importantes para o estudo de sistemas rochosos, já destacados por outros autores. O avanço do conhecimento desses sistemas precisa contribuir também para a definição de estratégias mais objetivas de conservação e para a determinação de parâmetros-alvo para a avaliação de impacto e de monitoramento ambiental.

Um exemplo atual da necessidade, urgente, de refinamento do conhecimento dos sistemas planta-rocha pode ser representado pelo conteúdo da Resolução n.º 423, de 12 de abril de 2010. Esta Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente “*dispõe sobre parâmetros básicos para identificação e análise da vegetação primária e dos*

estágios sucessionais da vegetação secundária nos Campos de Altitude associados ou abrangidos pela Mata Atlântica”, grifo nosso. Na região do Quadrilátero Ferrífero e ao longo da Cadeia do Espinhaço, por exemplo, vários estudos de impacto ambiental estão utilizando a resolução para fins de solicitação das licenças ambientais em casos de necessidade de supressão da vegetação associada geralmente às cangas e aos quartzitos. Entretanto, praticamente não existem parâmetros estabelecidos naquela resolução adequados às características dos afloramentos dessas regiões e das espécies que compõem tais comunidades.

A diversidade funcional das comunidades rupestres ainda é muito pouco conhecida e estudos sobre o tema devem ser estimulados, pois são fundamentais para o entendimento do funcionamento desses ecossistemas rochosos. Alguns padrões foram observados na tese e apontaram certas diferenças entre os litotipos investigados. Nas comunidades desenvolvidas sobre os granitóides predominam os indivíduos/clones de espécies monocotiledôneas com tolerância a dessecação, considerada uma das adaptações ecofisiológicas mais espetaculares encontradas em plantas vasculares. Nos quartzitos predominam as monocotiledôneas graminóides e as angiospermas subarborescentes e arbustivas. Nas cangas, os indivíduos subarborescentes e arbustivos e os graminóides compõem a maior parcela da cobertura vegetal. Entretanto, nas cangas uma relevante parcela da biomassa encontra-se na sub-superfície, desenvolvendo-se nos interstícios e outras irregularidades da rocha. A interface rocha-raiz também precisa ser investigada para verificar o grau de especialização/adaptação das espécies.

As cangas foram o litotipo que abrigaram a maior cobertura vegetal representada por espécies com distribuição restrita ao Quadrilátero Ferrífero, atingindo 33% do total. Os quartzitos atingiram 4%. O desenvolvimento de estudos - observacionais e experimentais - pode contribuir para o esclarecimento de uma questão importante: Por que as cangas, em comparação com os outros litotipos, abrigam uma quantidade muito maior de biomassa de plantas raras?