

**FATORES AMBIENTAIS CONDICIONANTES DA
DIVERSIDADE FLORÍSTICA EM CAMPOS RUPESTRES
QUARTZÍTICOS E FERRUGINOSOS NO QUADRILÁTERO
FERRÍFERO, MINAS GERAIS.**



**Universidade Federal
de Ouro Preto**

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitor

João Luiz Martins

Vice-Reitor

Antenor Barbosa Júnior

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação

André de Barros Cota

ESCOLA DE MINAS

Diretor

José Geraldo Arantes de Azevedo Brito

Vice-Diretor

Wilson Trigueiro de Souza

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Issamu Endo



EVOLUÇÃO CRUSTAL E RECURSOS NATURAIS

CONTRIBUIÇÕES ÀS CIÊNCIAS DA TERRA – VOL. 27

TESE DE DOUTORAMENTO

Nº 44

**FATORES AMBIENTAIS CONDICIONANTES DA DIVERSIDADE
FLORÍSTICA EM CAMPOS RUPESTRES QUARTZÍTICOS E
FERRUGINOSOS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS
GERAIS.**

Maria Cristina Teixeira Braga Messias

Orientadora

Mariangela Garcia Praça Leite

Co-orientador

João Augusto Alves Meira Neto

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais do Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial à obtenção do Título de Doutor em Ciências Naturais, Área de Concentração: Geologia Ambiental e Conservação de Recursos Naturais.

**OURO PRETO
2011**

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>
Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>
Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606 e-mail: pgrad@degeo.ufop.br

Os direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

ISSN 85-230-0108-6

Depósito Legal na Biblioteca Nacional

Edição 1ª

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

M585f Messias, Maria Cristina Teixeira Braga.
Fatores ambientais condicionantes da diversidade florística em campos rupestres
quartzíticos e ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais [manuscrito] / Maria
Cristina Teixeira Braga Messias. – 2011.

xx, 156 f.: il. color.; graf.; tabs.
(Contribuições às Ciências da Terra, Série D. v.27, n. 44)
ISSN: 85-230-0108-6

Orientadora: Profa. Dra. Mariangela Garcia Praça Leite
Co-orientador: Prof. Dr. João Augusto Alves Meira Neto

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.
Departamento de Geologia. Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos
Naturais.

Área de concentração: Geologia Ambiental e Conservação de Recursos Naturais.

1. Geoquímica ambiental - Teses. 2. Geologia ambiental - Teses. 3. Geobotânica -
Teses. 4. Fitogeografia - Teses. 5. Quadrilátero ferrífero (MG) - Teses. I. Universidade
Federal de Ouro Preto. II. Título.

CDU: 581.9:551(815.1)

<http://www.sisbin.ufop.br>

À minha família, meu porto seguro, dedico.

"A falsa ciência cria os ateus, a verdadeira, faz o homem prostrar-se diante da divindade."

(Voltaire)

Agradecimentos

À Universidade Federal de Ouro Preto, em especial ao Programa pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, ao Departamento de Biodiversidade Evolução e Meio Ambiente e Departamento de Ciências Biológicas, pela oportunidade de capacitação.

À FAPEMIG pelo apoio financeiro ao projeto (CRA-APQ-00601-08 e PRONEX CRA-APQ-00415-09).

À professora Mariangela Garcia Praça Leite, pela valiosa orientação, fundamentais ensinamentos e amizade.

Ao Professor João Augusto Meira Neto da Universidade Federal de Viçosa, pelo auxílio metodológico, pela importante orientação, ensinamentos e amizade.

Ao professor Paulo de Tarso A. Castro, pela valiosa ajuda no início do meu trabalho e por me “emprestar” um pouco da sua visão holística.

À professora Alessandra Kozovits, pela importante contribuição na discussão dos resultados.

Aos membros da banca: Claudia Jacobi, Carlos Victor Mendonça, Hildeberto Sousa e Paulo de Tarso pelas importantes sugestões para o aprimoramento desse trabalho.

Aos professores do programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, especialmente a Angélica Varajão, Cesar Chicarino Varajão, Hermínio Nalini, Hubert Hoeser e Paulo de Tarso Amorim Castro, pelos valiosos ensinamentos.

Ao professor Hermínio Nalini e Jorge Lena pela utilização do Laboratório de Geoquímica Ambiental e ensinamentos.

Ao professor Ricardo Tavares, do DEMAT / UFOP, pelo auxílio nas análises estatísticas.

À Adriana Tropia e Celso do LGqA, pelo auxílio nas análises químicas de solos.

À Gerência de Meio Ambiente da Samarco Mineração SA, especialmente Rodrigo Dutra e Gilciana Milagres, pelo suporte operacional e permissão para o desenvolvimento dos trabalhos experimentais. Ao Sr. Joaquim e operários do viveiro pela ajuda nos árduos trabalhos de campo.

Ao meu grande amigo Jorge Luís da Silva, pelo agradável convívio, bom humor e presteza, sua ajuda nos trabalhos de campo e herbário foi fundamental.

À Auria Tonaco, pela valiosíssima ajuda nos trabalhos de campo e herbário e amizade.

Ao Eduardo, pelo auxílio nos trabalhos de campo.

À Viviane Scalon, pelo auxílio no herbário OUPR e pela valiosa amizade.

Aos colegas da pós-graduação, em especial Adriana, Augusta, Eduardo, Juliana, Margô, Miriam, Silvia, Suzy e Tatiana, pelo agradável convívio e troca de experiências.

Aos taxonomistas C. Kameyama, A. Lobão, A. Rapini, M. Nadruz, A.M. Teles, R.S Araujo, R. Forzza, M. Kirizawa, M.Trovó, P. Sano, M.I.B. Loyolla, I. Cordeiro, A.O. Araujo, A. Quinet, P.C.B. Souza, E. Miranda, V.F. Dutra, V.R. Scalon, C.H.R. Paula; T.B. Cavalcanti, M. Bovini, R. Romero, J. Baungratz, M.F. Freitas, M. Sobral, C. Van den Berg, J.A.N. Batista, F. Barros, L. Bernacci; M.S. Marchioretto, A.L. Peixoto, J.F. Pastore, W. Marcondes-Ferreira, P.L. Viana, L.C.N. Melo, J.E. Casarino, M.S. Ferrucci, J.R. Stehmann, R. Andreatta, F.O. Souza-Buturi, M.F. Salimena e R. Mello-Silva pela identificação das espécies.

À Harriet e Paul pelo auxílio com a revisão do inglês.

Agradeço muito à minha família, por me dar o suporte em todos os momentos e pela compreensão das minhas ausências com a dedicação ao trabalho. Em especial agradeço a José Américo, pelos sempre valiosos conselhos e bom senso. À minha filha Aline, pela sua maravilhosa existência e por me lembrar que além dos meus pequenos problemas há sempre um motivo maior para eu seguir em frente. Aos meus pais, por toda a dedicação que tiveram com a minha formação e pelo exemplo de vida. Aos meus irmãos Aloísio e Eduardo, tão fundamentais em minha vida. À D. Maria Ignes, pelo exemplo de força e amizade. A toda família Trivellato Messias, pela oportunidade de verdadeiro convívio.

A todos os meus amigos que, graças a Deus, são muitos. Sem vocês, não teria como seguir em frente.

A Deus, pelo dom da vida, por tudo que tenho e sinto.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho, meu “muito obrigada”.

Sumário

AGRADECIMENTOS	ix
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABELAS	xv
RESUMO	xvii
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2. OBJETIVOS	7
CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS	9
3.1. Área de estudo	9
3.1.1. Escolha das áreas.....	9
3.1.2. Localização	9
3.1.3. Geologia	11
3.1.4. Os solos	16
3.1.5. O clima	18
3.2. Coleta de dados	19
3.2.1. Áreas experimentais	19
3.2.2. Coleta e análises de solo.....	24
3.2.3. Coleta de dados da flora dos campos rupestres.....	26
3.3. Análises dos dados	27
3.3.1. Análises estatísticas.....	27
3.3.2. Florística e fitossociologia.....	29
3.4. Forma de apresentação dos resultados	30
CAPÍTULO 4. FLORÍSTICA E FITOSSOCIOLOGIA DE CAMPOS RUPESTRES QUARTZÍTICOS E FERRUGINOSOS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS	31
CAPÍTULO 5. LIFE-FORM SPECTRA OF QUARTZITE AND ITABIRITE ROCKY OUTCROP SITES, MINAS GERAIS, BRAZIL	55
CAPÍTULO 6. SOIL-VEGETATION RELATIONSHIP IN QUARTZITIC AND FERRUGINOUS BRAZILIAN ROCKY OUTCROPS	81
CAPÍTULO 7. CONCLUSÕES	103
REFERÊNCIAS	105
APÊNDICES	115
BANCA EXAMINADORA (Ficha de Aprovação)	156

Lista de Figuras

Figura 3.1. Mapa de relevo do Quadrilátero Ferrífero	10
Figura 3.2. Fotografia aérea das áreas de estudo evidenciando a localização das áreas experimentais nos campos rupestres sobre itabirito (Ouro Preto) e quartzito (Mariana).	10
Figura 3.3. Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero (Dorr 1969) modificado por Alkmin & Marshak (1998), indicando a área de estudo.....	12
Figura 3.4. Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero	14
Figura 3.5. Mapa geológico das áreas de estudo	15
Figura 3.6. Pluviosidade (mm) nos anos de 2007 a 2009 na Serra de Antonio Pereira, Ouro Preto, MG	18
Figura 3.7. Temperatura máxima e mínima (°C) nos anos de 2008 e 2009 na Serra de Antonio Pereira, Ouro Preto, MG	19
Figura 3.8. Velocidade do vento (m/s) nos anos de 2008 e 2009 na Serra de Antonio Pereira, Ouro Preto, MG.....	19
Figura 3.9. Habitats estratificados pelas geoformas nos campos rupestres sobre os diferentes litotipos	20
Figura 3.10. Campos rupestres sobre afloramentos de itabirito (IAF). No detalhe, o substrato mostrando as formações ferríferas bandadas aflorantes.....	21
Figura 3.11. Campos rupestres em patamares sobre canga (IPL). No detalhe o substrato constituído de concreções ferruginosas conhecidas como canga couraçada.....	21
Figura 3.12. Campos rupestres (campos sujos) sobre canga (ICS). No detalhe, o substrato constituído por cangas couraçadas parcialmente cobertas por material coluvionar.....	22
Figura 3.13. Campos rupestres em áreas inclinadas, com afloramentos de quartzito (QAF). No detalhe, o substrato constituído por ilhas de solo arenoso, muito raso, ocupando depressões na rocha	22
Figura 3.14. Campos rupestres nos patamares sobre quartzito (QPL). No detalhe, o substrato, constituído de solo arenoso, raso, contínuo, com raros afloramentos rochosos	23
Figura 3.15. Campos rupestres (campos sujos) sobre quartzito (QCS). No detalhe, o substrato, constituído de solo arenoso, relativamente mais espesso que nos outros habitats, contínuo, com ocasionais afloramentos rochosos.....	23
Figura 3.16. Coleta de amostras de solo em campos rupestres quartzíticos.....	24
Figura 3.17. Diagrama ilustrativo das formas de vida dos vegetais de acordo com Raunkiaer (1934)	28
Figura 4.1. Famílias com maior riqueza (% espécies) nas duas áreas amostrais de campos rupestres sobre itabirito e quartzito, em Ouro Preto e Mariana, respectivamente	41
Figura 4.2. Diagrama de Venn indicando o número de espécies exclusivas e comuns e respectivas similaridades florísticas entre habitats de campos rupestres estudados em Ouro Preto e Mariana, MG.....	41
Figura 4.3. Dendrograma de similaridade entre as parcelas, utilizando análise de agrupamentos por médias não ponderadas (UPGMA) e o índice de Jaccard como distância	42
Figura 5.1. Floristic, frequency, and vegetational life-form spectra of rocky outcrop sites (approximately, 20°10'S - 43°30'W).....	61
Figura 6.1. Ordination diagram of the Canonical Correspondence Analysis related to data of 60 plots of rocky outcrop sites, with the 30 highest cover value species and soil variables	91
Apêndice D. Algumas espécies vegetais ocorrentes nas áreas dos campos rupestres estudados	119

Lista de Tabelas

Tabela 4.1. Número de espécies (S), Índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') e Equabilidade de Pielou (J') nos diversos habitats estudados.	38
Tabela 4.2. Parâmetros fitossociológicos das espécies com maior valor de importância nos diferentes habitats de campos rupestres sobre itabirito, em Ouro Preto, Minas Gerais (20°10'S - 43°31'W)...	39
Tabela 4.3. Parâmetros fitossociológicos das espécies com maior valor de importância nos diferentes habitats de campos rupestres sobre quartzito, em Mariana, Minas Gerais (20°13'S e 43°24'W). ...	40
Tabela 5.1. Species list of rocky outcrop sites (approximately, 20°10'S - 43°30'W) and their respective life-form and mean coverage (%) in the different habitats.	63
Tabela 5.2. Comparison among the life-form spectra of quartzite and itabirite rocky outcrop sites....	69
Tabela 6.1. Average (X) and standard deviation (s) of the soil variables in itabirite and quartzitic soils of rocky outcrops among different habitats. Ouro Preto (20°10'S and 43°31'W) and Mariana (20°13'S and 43°24'W), Brazil.	87
Tabela 6.2. Spearman coefficient correlations among the soil variables in itabirite and quartzitic soils of rocky outcrops in Ouro Preto (20°10'S / 43°31'W) and Mariana (20°13'S / 43°24'W), Brazil..	88
Tabela 6.3. Species selected for canonical correspondence analysis (CCA) and their respective mean coverage in the different habitats of rocky outcrop sites.....	90
Tabela 6.4. Summary of Canonical correspondence analysis (CCA) and Monte Carlo permutation test of plant species coverage and soil properties for the studied rocky outcrops.....	92
Apêndice A. Média (X) e desvio padrão (s) dos teores totais (mg/kg) de elementos maiores, menores e traços dos solos de campos rupestres sobre quartzito e itabirito em diferentes habitats em Ouro Preto (20°10'S / 43°31'W) e Mariana (20°13'S / 43°24'W), Brasil	115
Apêndice B. Análises mineralógicas das amostras de solos das áreas estudadas	116
Apêndice C. Lista de espécies coletadas fora das unidades experimentais nas áreas estudadas	116

Resumo

Duas áreas com campos rupestres quartzíticos e ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais foram estudadas com o objetivo de verificar se a geologia e geomorfologia influenciam a flora dessas comunidades. Os campos rupestres foram estratificados pelas geoformas em três habitats: 1. Áreas inclinadas nos topos das elevações, com campos limpos; 2. Patamares, com campos limpos e 3. Porções mais baixas ou côncavas dos perfis, com campos sujos. Amostraram-se 60 parcelas (10x10m), 10 em cada habitat, alocadas aleatoriamente. Foram realizadas análises químicas, mineralógicas e granulométricas dos solos, além da determinação do teor de umidade e da proporção de rochas aflorantes. Realizaram-se estudos florísticos, fitossociológicos e análise dos espectros biológicos da vegetação, usando as formas de vida de Raunkiaer. Estimou-se o valor de cobertura e calculou-se a frequência, dominância e valor de importância (VI) das espécies. Para cada habitat, calculou-se a diversidade pelo índice de Shannon-Wiener (H') e equabilidade de Pielou (J'). A similaridade entre os habitats foi avaliada pelo índice de Jaccard e análise de agrupamentos das parcelas. Relações entre solo e vegetação foram averiguadas por análises de correspondência canônica (CCA) entre os dados de cobertura das espécies e variáveis dos solos. Apesar dos solos analisados serem, em geral, arenosos, ácidos, com baixa fertilidade e com alto teor de metais, houve diferenças significativas entre as propriedades físicas e químicas. Os solos sobre quartzito possuem maior proporção de terra fina (grânulos < 2mm) do que aqueles sobre itabirito. No entanto o teor de macro e micronutrientes foi maior nos solos derivados de itabirito, com exceção do teor de S, que foi maior nos quartzitos. Foram inventariadas 160 espécies nos campos ferruginosos e 165 espécies nos campos rupestres quartzíticos, totalizando 263 espécies, pertencentes a 64 famílias. Nos campos rupestres declivosos com afloramentos rochosos de itabirito e nos patamares com cangas *Vellozia compacta* foi a espécie de maior VI. Nos campos rupestres inclinados com afloramentos de quartzito *Lagenocarpus rigidus* foi a espécie com maior importância, seguida por algumas fanerófitas, incluindo *V. compacta*. *Echinolaena inflexa* foi a espécie de maior VI nos patamares sobre quartzito, seguida por algumas fanerófitas e várias hemiptófitas. Os campos sujos sobre itabirito foram dominados por *E. erythropappus* e *V. compacta* enquanto que os campos sujos sobre quartzito, por *Echinolaena inflexa*, *Eremanthus erythropappus* e outras fanerófitas. Os campos sujos foram mais diversos que os campos limpos. Os campos rupestres sobre itabirito apresentaram menor diversidade ($H'=2,92$) e equabilidade ($J'=0,58$) do que os que se encontram sobre quartzitos ($H'=3,36$; $J'=0,66$). A análise de agrupamentos indicou dois grupos principais constituídos pelas diferentes litologias. Sequencialmente, os campos sobre quartzito foram subdivididos nos diferentes habitats pré-estabelecidos. Os campos limpos ferruginosos (declivosos e em patamares) mostraram-se similares, mas segregando dos campos sujos. Fanerófitas e hemiptófitas são as formas de vida predominantes. Os habitats estudados apresentaram espectros florísticos similares, no entanto, eles mostraram espectros de frequência e de vegetação

significativamente diferentes. A CCA indicou uma clara separação entre os campos rupestres sobre itabirito e quartzito devido principalmente aos teores disponíveis de Ca, Cu, Mg, Mn e S e as características granulométricas – medida de tendência central e grau de seleção, percentagem de silte, terra fina e proporção de afloramentos rochosos. Foi verificada uma alta correlação entre as características dos solos e a cobertura das espécies vegetais. Os resultados evidenciaram a geologia e geomorfologia como determinantes da distribuição de algumas das populações, afetando a composição florística dos campos rupestres.

Abstract

Quartzite and itabirite rocky outcrops, in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais State, were studied aiming to investigate if geology and geomorphology influence the flora in these communities. The rocky outcrops in each lithology were stratified in three habitats by geomorphology as: 1. Grasslands in sloped areas; 2. Grasslands on the plateaus and 3. Woody savannas in the lower or concave parts of the slopes. In each habitat, 10 plots (10x10m) were randomly defined, totaling 60 plots. Soil was sampled to perform chemical, mineralogical and granulometric analyses, and also the soil water content and the percentage of bare rocks in each plot was determined. Floristic and phytosociological studies and also biological spectra analyses were performed, using the Raunkiaer life-forms. The species and their respective coverage were recorded. Frequency, dominance and importance value (IV) parameters were calculated for each species. Shannon (H') and Pielou (J') indexes were calculated for each habitat. Jaccard similarity index and clustering analysis were used to assess the similarity of the different habitats. A canonical correspondence analysis (CCA) of soil variables and species coverage was performed to investigate the soil-vegetation relationship. The analyzed soils were sandy, acidic and presented low fertility and high levels of metallic cations. Nevertheless, they exhibited differences in chemical and physical properties. Quartzitic soils presented a higher proportion of fine soil (< 2 mm). On the other hand, the itabirite soil samples presented higher levels of macro and micronutrients, except S, which was higher in quartzitic soils. There were found 165 species in the quartzitic and 160 in the ferruginous grasslands, totalling 263 species, grouped in 64 families. *Vellozia compacta* was the species with the highest IV in both ferruginous grasslands. *Lagenocarpus rigidus* was the species with the highest IV in quartzitic sloped areas, followed by some phanerophytes, including *V. compacta*. *Echinolaena inflexa* was the species with the highest IV in quartzitic plateaus followed by some phanerophytes and many hemicryptophytic species. The woody savannas in ferruginous areas were dominated by *Eremanthus erythropappus* and *V. compacta*, while in quartzitic areas by *Echinolaena inflexa*, *Eremanthus erythropappus* and many phanerophytic species. Woody savannas are more diverse than grasslands. Ferruginous *campos rupestres* exhibited lower diversity ($H'=2.92$) and equitability ($J'=0.58$) than quartzitic ones ($H'=3.36$; $J'=0.66$). The cluster analysis showed two main groups in accordance with the analyzed lithologies. Subsequently, further clustering of the quartzite plots separated the three previously stratified habitats. Both ferruginous grasslands (sloped areas and plateaus) were similar, but segregated from the woody savannas. The most represented life-forms were the phanerophytes and hemicryptophytes. All the floristic spectra were similar, but there were significant differences in the frequency and vegetational spectra. The CCA showed a clear segregation of lithological sites due mainly to the exchangeable content of Ca, Cu, Mg, Mn and S; central tendency and sorting of soil particle size; and the percentage of silt, fine soil and bare rocks. A strong correlation between plant species coverage and soil properties was also found.

The results give evidence that geology and geomorphology influence the floristic composition of *campos rupestres*.

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

No alto de algumas montanhas brasileiras, normalmente acima de 900m, ocorrem os denominados campos rupestres. Situam-se, em sua maior extensão, na cadeia do Espinhaço, que se estende de Minas Gerais à Bahia e em algumas disjunções, sobretudo em Goiás e Mato Grosso (Menezes & Giuliatti 1986). A porção sul da Cadeia do Espinhaço localiza-se em zonas de contato entre o Cerrado e a Mata Atlântica, enquanto que a porção central e norte, em áreas de transição entre a Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica, importantes “hotspots” terrestres (Myers 1988; Giuliatti & Pirani 1988). Os campos rupestres possuem alta biodiversidade e muitas espécies endêmicas e ameaçadas de extinção (Giuliatti & Pirani 1988). O substrato rochoso mais comum nesses campos é o quartzito, com solos pouco profundos, pedregosos ou arenosos, permeados pelos afloramentos rochosos (Benites *et al.* 2007). A vegetação é principalmente herbácea, com algumas plantas esparsas de maior porte que crescem sobre ou entre blocos de rochas, ou nos solos litólicos. Observa-se aí uma grande convergência de hábitos vegetativos, inclusive entre famílias afastadas do ponto de vista evolutivo (Giuliatti *et al.* 1987). De acordo com Porembski *et al.* (1994, 1998), as comunidades vegetais dos campos em afloramentos rochosos são controladas por condições edáficas, e muitas vezes representam ilhas de comunidades xéricas mescladas em uma matriz mesofítica. As espécies exibem adaptações morfológicas e fisiológicas aos fatores estressantes do ambiente como altas temperaturas diurnas, grande variação da temperatura diária, alta incidência de radiação ultravioleta, pobreza do substrato, escassez de água, baixa umidade relativa do ar e exposição ao vento. Alguns dos caracteres xeromórficos tais como folhas pilosas, coriáceas, de disposição imbricada e com cutículas espessas, estômatos protegidos, bainhas persistentes, adaptações para absorção e acúmulo de água e esclerofilia são comuns em espécies adaptadas aos afloramentos rochosos (Gaff 1977, 1987, Giuliatti *et al.* 1987, 1997, Porembski & Barthlott 2000). Dentre as adaptações fisiológicas ao déficit hídrico inclui-se o controle da abertura de estômatos, tolerância a dessecação e presença de metabolismo CAM (Gaff 1977, 1987). A vegetação em campos ferruginosos também exhibe mecanismos para sobrevivência em substratos ricos em metais pesados como ferro, manganês, cobre, chumbo e outros (Vincent & Meguro 2008). Teores elevados de metais em solos favorecem a seleção de espécies ou ecótipos que exibem adaptações morfológicas ou fisiológicas a estas características. A vegetação metalófito é caracterizada por indivíduos com alta concentração de metais pesados em seus tecidos, podendo também apresentar diferenças na estatura da planta com ecótipos gigantes ou anões (Porto & Silva 1989). Nesses ambientes, é comum a ocorrência de espécies endêmicas (Porto & Silva 1989, Silva & Rosa 1990). E ainda, segundo Howard-Williams (1970) e Antonovics *et al.* (1971), a presença de altos teores de metais pesados nos solos pode influenciar os parâmetros fitossociológicos de algumas populações.

Ainda no século XVIII, os campos rupestres impressionaram naturalistas estrangeiros como o francês August de Saint Hilaire, o inglês George Gardner e o botânico alemão Carl Friedrich Philipp von Martius, que se encantaram com a beleza de sua flora. No início do século passado, alguns naturalistas de Minas Gerais, especialmente Álvaro da Silveira (Silveira 1908) e H. L. Mello-Barreto (Mello-Barreto 1942) desenvolveram alguns estudos da flora de serras mineiras. Posteriormente, foram publicadas diversas floras e flóculas na tentativa de ampliar o conhecimento sobre a composição dos campos rupestres brasileiros (Harley & Simmons 1986, Giuliatti *et al.* 1987, Giuliatti *et al.* 1997, Pirani *et al.* 1994, Stannard 1995). Tais estudos demonstram um alto índice de diversidade e endemismo para este tipo de vegetação, devido às condições ecológicas muito particulares.

Mello-Barreto (1942) adotou a denominação campos alpinos e citou o solo e o clima como fatores determinantes das características típicas da vegetação. Já Rizzini (1997), ao classificar os campos brasileiros no seu Tratado de Fitogeografia, descreveu campos rupestres como campos limpos, que por sua vez estariam subdivididos em quartzíticos e de canga. Segundo este mesmo autor, a denominação rupestre, isto é, com afloramentos rochosos, seria comum a modalidades florísticas distintas, e ainda, que os próprios campos limpos podem não apresentar estes afloramentos. Salienta, ainda, o fato do termo “campo limpo” ter sido, há muito, empregado por vários autores como Almeida & Lima (1959), Chevalier (1928), Hoehne (1923), Lindman (1906), Löefgren (1890 e 1898) e Rizzini (1963).

Muitos autores como Ferri (1980), Giuliatti *et al.* (1987), Harley & Simmons (1986), Magalhães (1954, 1956), Menezes & Giuliatti (1986), Peron (1989) e Pirani *et al.* (1994) denominam as modalidades descritas anteriormente, simplesmente de campos rupestres, embora destaquem a existência, entre estes subtipos, de amplas transições, tanto estruturais quanto florísticas. Giuliatti *et al.* (2000) ressaltaram ainda que a denominação campo rupestre é caracterizada principalmente pela localização em grandes altitudes, associada à grande quantidade de afloramentos rochosos, com a resultante diminuição da profundidade do solo, exceto em áreas protegidas da erosão. De acordo com Harley & Simmons (1986), campos rupestres é a expressão que define a vegetação crescendo sobre substrato derivado de quartzito-arenito. No entanto, outros autores usam esta expressão para definir também a vegetação campestre nas montanhas sobre outros substratos, como o granito-gnaiss (e.g. Queiroz *et al.* 1996) ou itabirito (e.g. Jacobi & Carmo 2008, Mourão & Stehmann 2007, Viana & Lombardi 2007). No Quadrilátero Ferrífero (QF), Minas Gerais, os campos rupestres ocorrem frequentemente em áreas com quartzito, intercaladas com itabirito, metarenito, filito, xisto e gnaiss, dentre outros litotipos. As áreas sobre itabirito, muito frequentemente apresentam-se cobertas por uma couraça ferruginosa, desenvolvida pelo intemperismo químico do itabirito, conhecida popularmente como “canga”. Os itabiritos e quartzitos ocupam as cotas de maiores altitudes no QF (Varajão *et al.* 2009), aonde a vegetação apresenta fisionomia semelhante.

Apesar do termo “campo rupestre” ser o mais utilizado atualmente, seu significado nem sempre é claro. O próprio Magalhães (1966), dentro do item “Cerrado” afirma que “os campos limpos podem estar inclusos às extensões do cerrado comum assim como nas formações rupestres das serras (campos rupestres)”. Gavilanes *et al.* (1990), na Serra do Carrapato (Lavras, MG), fazem distinção entre o campo rupestre e o campo limpo do alto da serra, este último incluso no campo rupestre. Portanto para estes autores, e provavelmente para Magalhães, o termo campo rupestre se restrinja ao ambiente com afloramentos rochosos, ficando mais próximo ao verdadeiro significado da palavra “rupestre”. No entanto, Harley & Simmons (1986) definem:

“The campo rupestre is primarily composed of sclerophyllous, evergreen, small trees, shrubs or sub-shrubs, characteristic of the more sharply draining quartzitic sands or sloping, rocky areas, of epilithic plants especially adapted to exploit the dew by means of specialized roots and pseudobulbs as in Orchidaceae, or with water tanks, and of bog plants such as Cyperaceae, Eriocaulaceae, Lentibulariaceae and Xyridaceae, which are adapted to wet soils of low nutrient status and pH”.

Ou seja, estes autores incluem como campos rupestres todos os tipos de comunidades que podem ser encontrados nos altos das serras, exceto as florestais, incluindo a vegetação dos afloramentos rochosos e campos arenosos secos e úmidos. Veloso (1991) classificou tal formação como “refúgios vegetacionais ou relíquias de vegetação”, que segundo ele, seria toda e qualquer vegetação floristicamente diferente do contexto geral da flora dominante. Eiten (1977) já encarava este tipo de vegetação como um complexo e Semir (1991) propôs o termo “complexo rupestre de quartzito” para designar a vegetação sobre as serras da Cadeia do Espinhaço e serras goianas e “complexos rupestres de granito” para a vegetação da Mantiqueira. Mais recentemente, Benites *et al.* (2003) sugeriram a inclusão do termo “altitude” na terminologia proposta por Semir (1991), ampliando-a para “complexos rupestres de altitude sobre granito” e “complexos rupestres de altitude sobre quartzito”, por considerarem importante separar as áreas altimontanas de outros “complexos rupestres”. No entanto, diferentemente de outras formações, como a Amazônia e o Cerrado, não apresentam uma área nuclear de distribuição, ocorrendo em áreas disjuntas, separados por vales florestados, planaltos e bacias hidrográficas (Caiafa 2004). Vincent & Meguro (2008) sugeriram a denominação “campo rupestre” acrescido do substrato geológico.

Ao se observar a variação da vegetação em diferentes escalas, é possível identificar padrões e processos no espaço e no tempo. Padrões se evidenciam pela repetição de tipos vegetacionais estrutural ou floristicamente semelhantes. Processos se manifestam na dinâmica desses padrões no espaço ou no tempo. Padrões e processos são condicionados por fatores de ambiente tais como solo e clima (Pillar 2000). Em grande escala, a paisagem da Serra do Espinhaço acima de 900m é bastante uniforme, constituída de campos com e sem afloramentos rochosos e alguns capões de mata. Numa

pequena escala, a vegetação é formada por um mosaico de comunidades, sob o controle de atributos ambientais como topografia, geomorfologia, natureza do substrato, microclima, etc.

Os solos representam um fator fundamental no desenvolvimento e persistência de domínios biológicos característicos (Brown 1987). Lopes & Cox (1977) apresentaram dados de características químicas de solos não calcários sob diferentes formas fisionômicas e argumentaram que variações na disponibilidade de fósforo, potássio, cálcio e magnésio estão associados ao gradiente de vegetação: campo limpo, campo cerrado, cerrado, cerradão e mata. No entanto, os resultados encontrados com as relações solo x vegetação em cerrado são controversos (Ruggiero & Pivello 2005). A disponibilidade de nutrientes é concebida como fator condicionante da redução da riqueza de espécies em comunidades campestres (Berendse & Elberse 1990 *apud* Roem & Berendse 2000), pelo aumento da produtividade e da competição por luz de gramíneas de maior porte ou rápido crescimento, ocasionando substituição de outros vegetais de crescimento mais lento. Houdijk *et al.* (1993) relataram que em campos onde houve aumento na disponibilidade de nutrientes, ocorreu a dominância de gramíneas e conseqüente desaparecimento de espécies raras. McCrea *et al.* (2001) estudando formações antrópicas campestres na Inglaterra avaliaram correlações entre riqueza de espécies e fertilidade dos solos, através da análise de redundância de dados de abundância de espécies e características do solo como disponibilidade de nitrogênio, fósforo, potássio, pH, textura, umidade e perdas com queimadas. Os autores atestaram que menores teores de fósforo determinam maior diversidade, o oposto ocorrendo com o potássio. Roem & Berendse (2000) verificaram correlações positivas entre o pH e disponibilidade de alguns macronutrientes na diversidade de espécies vegetais em comunidades campestres na Holanda. Grime (1979) estabeleceu uma curva riqueza versus produtividade, onde menores valores de riqueza de espécies ocorrem em locais de maiores e menores produtividade, sendo sítios de maior riqueza os de produtividade moderada. Braakhekke (1980 *apud* Roem & Berendse 2000) e Tilman (1982) sugerem que a riqueza de espécies é maior onde os locais de crescimento de plantas são limitados por diferentes nutrientes. Modelos teóricos têm mostrado que, embora haja competição, as espécies de plantas que são limitadas por diferentes nutrientes podem coexistir sem exclusão competitiva, se cada espécie é competitivamente superior com respeito ao nutriente que limita seu crescimento (Braakhekke 1980 *apud* Roem & Berendse 2000). O tipo de nutriente limitante não somente afeta o número de espécies que podem coexistir, mas também influencia na composição das espécies. Comunidades de plantas onde o crescimento é limitado pelo nitrogênio diferem em composição de comunidades de espécies limitados por fósforo, ainda que não haja diferenças de produtividade (Koerselman & Meuleman 1996; Verhoeven *et al.* 1996). Muito embora as condições ambientais e as espécies vegetais citadas nesses trabalhos possuam uma natureza adaptativa muito diversa dos campos rupestres, metodologias utilizadas mostram ser úteis para o desenvolvimento de trabalhos semelhantes nesse ecossistema.

Os solos de campos rupestres podem ser descritos, de forma geral, como sendo rasos e

arenosos, pobres em nutrientes, ricos em ferro e alumínio trocáveis (Benites 2001, Benites *et al.* 2003, 2007, Carvalho Filho *et al.* 2010, Conceição *et al.* 2007b, Volkoff *et al.* 1984), diferindo dos ecossistemas regionais predominantes. Em virtude das condições adversas do meio, os organismos apresentam adaptações morfológicas e fisiológicas para resistir à deficiência hídrica e nutricional (Benites 2001), muitas vezes apresentando convergência evolutiva quanto aos caracteres escleromórficos (Giulietti & Pirani 1988). Apesar de possuírem muitas características em comum, comparando análises de solos de diversas localidades de campos rupestres (Benites *et al.* 2005, Benites *et al.* 2007, Conceição & Giulietti 2002, Conceição *et al.* 2007b, Fernandes *et al.* 2007, Gonçalves-Alvim & Fernandes 2001; Meguro *et al.* 1994, Negreiros *et al.* 2008, Oliveira *et al.* 2009, Oliveira Junior *et al.* 2006, Teixeira & Lemos-Filho 2002, Vincent & Meguro 2008, Vitta 1995) observou-se uma notável diferença nas características químicas e físicas tanto dos solos derivados de quartzito, como os do itabirito, sugerindo a necessidade de estudos para esclarecer a relação solo-vegetação nesses ambientes.

Embora alguns autores sugiram que a flora dos campos rupestres dependa de características edáficas, os estudos ainda são incipientes. No Quadrilátero Ferrífero, apenas conhece-se o trabalho de Vincent & Meguro (2008), mas restrito a localidades em sua porção oeste e a alguns tipos de habitats. De acordo com este estudo, foi encontrada uma forte correlação entre a abundância de espécies e propriedades do solo, onde a distribuição de espécies foi determinada principalmente pelo teor de nutrientes e metais pesados, especialmente Cu, Zn e Pb. Todos os outros estudos em campos rupestres, associando solos e vegetação, correlacionaram variáveis do solo aos índices de diversidade e riqueza de famílias ou distribuição de formas de vida. Conceição & Giulietti (2002) encontraram mais fanerófitas em habitats com rochas aflorantes do que em patamares com solo contínuo, aonde as hemicriptófitas foram dominantes. De acordo com estes autores, a riqueza de espécies foi maior em áreas com maior fertilidade, contrapondo a Berendse & Elberse (1990). Conceição *et al.* (2007b) também trabalhando em um campo rupestre sobre quartzito-arenito na Chapada Diamantina encontraram maior riqueza de plantas vasculares em áreas com menor teor de Al e com maior saturação de bases, P e silte. Por outro lado, estes autores observaram menor diversidade em solos com maior teor de Al disponível e menores valores de capacidade de troca catiônica (CTC), pH, teor de silte, argila e matéria orgânica. Rizzini (1997) relatou que os campos ferruginosos são menos diversos que os outros tipos de campos limpos. Vincent (2004) encontrou maior riqueza de espécies em campos ferruginosos sobre canga nodular e menor riqueza em campos ferruginosos sobre canga couraçada, quando comparados a uma área de campo rupestre quartzítico. Viana & Lombardi (2007) também relatam uma menor riqueza de Poaceae em campos sobre canga couraçada do que nos outros tipos de campos rupestres, um fato também constatado por Rizzini (1997). De acordo com Jacobi *et al.* (2007) e Jacobi & Carmo (2008) a menor riqueza dos campos ferruginosos é devida ao maior teor de alguns metais e a maior rusticidade do ambiente. No entanto, muitas espécies são adaptadas às condições

adversas tolerando altos níveis de metais, encharcamento e/ou seca sazonais, baixa fertilidade e acidez do solo. É notável o fato das espécies crescerem nesses ambientes sem exibirem sintomas típicos de deficiência de nutrientes como cloroses e necroses foliares, comuns nas espécies cultivadas.

Pouco ainda se conhece a respeito dos serviços ecológicos desses ecossistemas e muitas atividades antrópicas provocam impactos nos campos rupestres, em especial a mineração em campos rupestres ferruginosos. Desta forma, o presente trabalho objetiva contribuir para o conhecimento da vegetação de campos rupestres e da sua relação com as variáveis ambientais. Estudos de relações entre solo e vegetação são fundamentais para estabelecer estratégias de conservação, em especial na elaboração de critérios para determinação de áreas prioritárias a serem protegidas, assim como subsidiar projetos de recuperação de áreas degradadas.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O presente trabalho objetiva verificar se a geologia e geomorfologia influenciam na distinção de comunidades dos campos rupestres do Quadrilátero Ferrífero.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar os solos dos campos rupestres nas diferentes litologias e geomorfologias estudadas quanto às propriedades físicas (granulometria e umidade) e químicas (fertilidade e elementos totais), assim como o substrato (% de rochas aflorantes), verificando diferenças entre os habitats.
- Caracterizar e comparar a composição florística, o espectro biológico e a estrutura horizontal de campos rupestres sobre quartzito e itabirito em diferentes habitats estratificados pelas geoformas.
- Identificar variáveis dos solos relacionadas com a distribuição de populações de espécies e formas de vida nos campos rupestres sobre as diferentes litologias (quartzito e itabirito) e feições geomorfológicas.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

3.1.1. Escolha das áreas

Foram consultados mapas e percorridas diversas áreas do Quadrilátero Ferrífero, visando à escolha de áreas de campos rupestres sobre quartzito e itabirito próximas e em bom estado de conservação (sem episódios de queimadas, coletas predatórias e outros impactos ambientais). Foram visitadas a Serra do Curral, Serra da Moeda, Serra de Itabirito, Serra da Piedade, Serra da Brígida, Serra do Rola Moça e Serra de Antônio Pereira. A princípio foram selecionadas áreas nessas duas últimas serras, no entanto, o incêndio ocorrido em 2007 na Serra do Rola Moça, restringiu a área experimental a Serra de Antonio Pereira.

3.1.2. Localização

O Quadrilátero Ferrífero, localizado na parte central do Estado de Minas Gerais, abrange uma área de aproximadamente 7.200 km² (Figura 3.1). Dentro de um contexto ecogeográfico, situa-se ao sul da Cadeia do Espinhaço (Figura 3.1), localizada no planalto Atlântico e que se estende pelos Estados da Bahia e Minas Gerais (Gontijo 2008).

Os campos sobre itabirito localizam-se nos municípios de Ouro Preto (20°10'S e 43°31'W), no distrito de Antonio Pereira, em localidade denominada Alegria 7, dentro do complexo minerário da Samarco Mineração S.A. Os campos sobre quartzito localizam-se em Mariana (20°13'S e 43°24'W), no distrito de Santa Rita Durão, próximo a sede do subdistrito de Bento Rodrigues (Figuras 3.2 e 3.3). Os campos rupestres sobre as diferentes litologias distam entre si de aproximadamente 12 km em linha reta. As vias de acesso se dão a partir da cidade de Mariana, pela MG 129, seguindo até as unidades amostrais por estradas não pavimentadas ou trilhas. Estas áreas pertencem a Samarco Mineração S.A. e fazem parte da Serra de Antônio Pereira, também conhecida como Serra de Ouro Preto, ao sudeste do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais (Figuras 3.2 e 3.3).

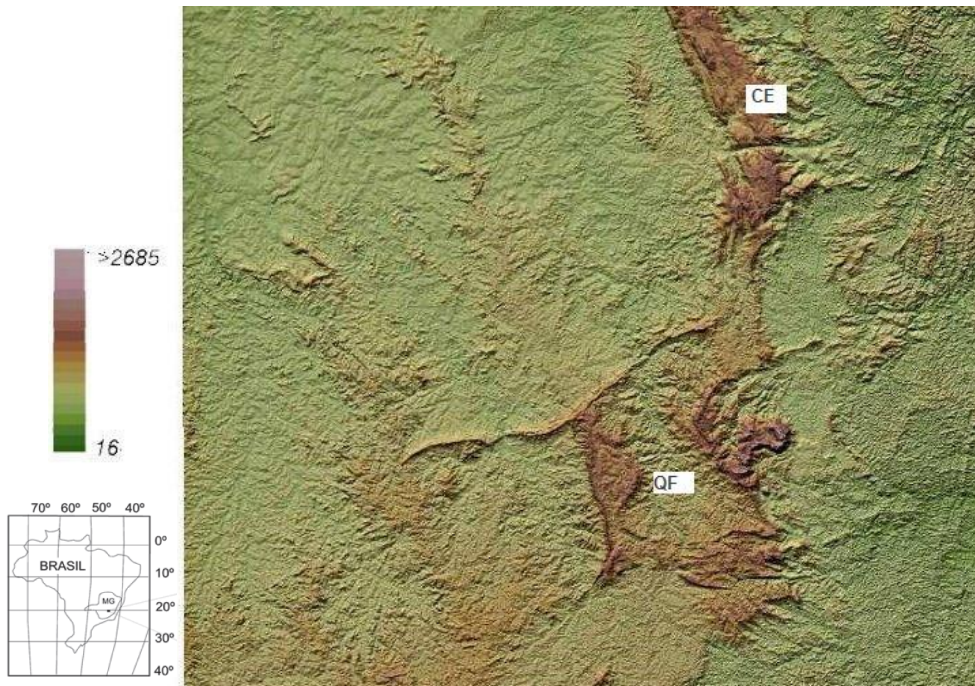


Figura 3.1. Mapa de relevo evidenciando o Quadrilátero Ferrífero (QF) e parte da Cadeia do Espinhaço (CE), em Minas Gerais. (Miranda 2005)

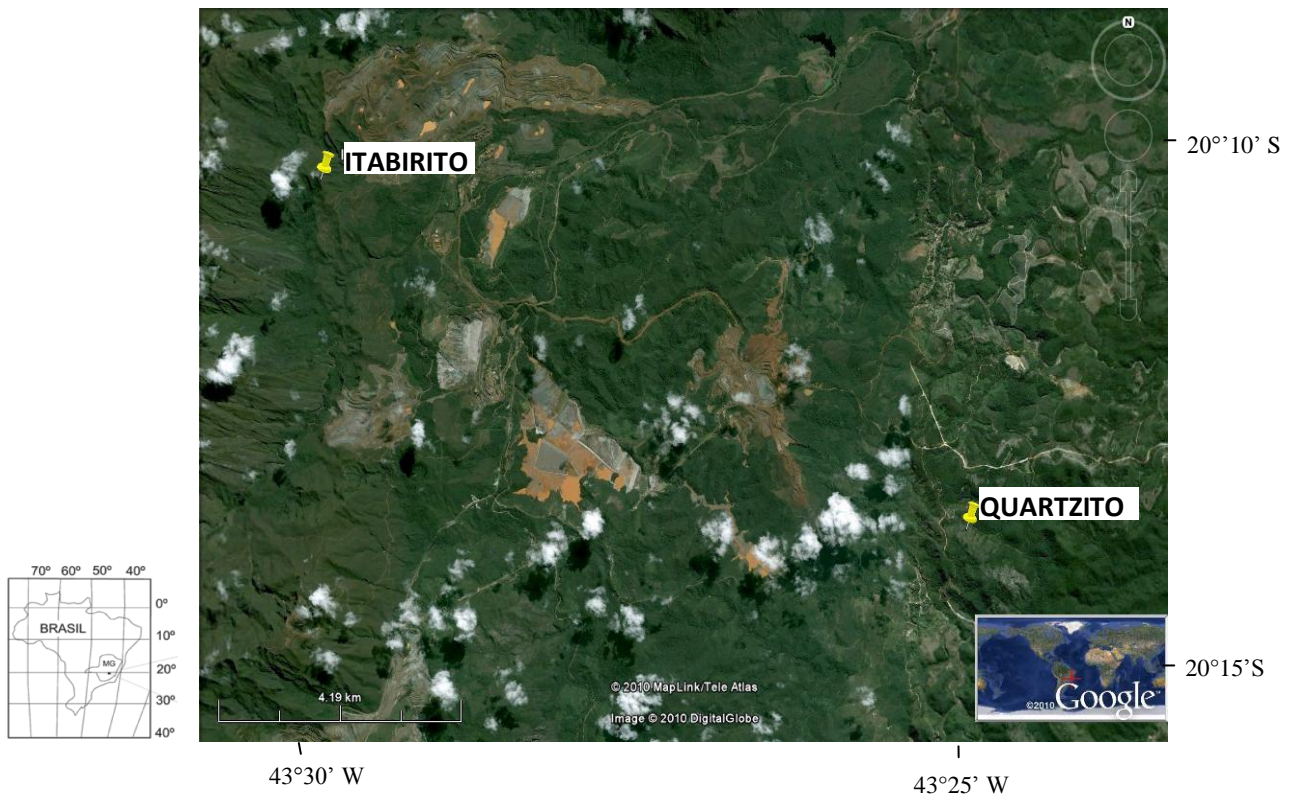


Figura 3.2. Fotografia aérea das áreas de estudo evidenciando a localização das áreas experimentais nos campos rupestres sobre itabirito (Ouro Preto) e quartzito (Mariana).

3.1.3. Geologia

As regiões do Quadrilátero Ferrífero e Serra do Espinhaço são objetos de estudos geológicos desde o final do século XIX, por serem áreas com importantes ocorrências minerais, tais como, ouro, ferro, manganês, diamante, entre outros. Segundo Alkmim & Marshak (1998) a litoestratigrafia presente na área em estudo inclui rochas arqueanas de Complexos Metamórficos do Embasamento (principalmente granito-gnaisses); “Greenstone-belts” arqueanos do Supergrupo Rio das Velhas, subdividido nos Grupos Nova Lima (clorita xistos, filitos cloríticos, formações ferríferas do tipo “algoma”) e Maquiné (quartzitos maciços e xistosos com lentes de conglomerados intraformacionais, sericita-quartzo xistos); seqüências plataformais proterozóicas do Supergrupo Minas subdividido nos Grupos Caraça (quartzitos, filitos), Itabira (itabiritos, filitos, quartzitos e rochas carbonáticas), Piracicaba (quartzitos e filitos) e Sabará (filitos, xistos, metagrauvas, cherts e formações ferríferas) e Grupo Itacolomi, formado por metassedimentos clásticos (Figura 3.4). Toda a seqüência é seccionada por diques máficos, sendo a principal época de intrusão de 906 Ma. Os contatos destas litologias com as subjacentes são tectônicos (Silva *et al.* 1992).

De acordo com Maxwell (1972) o Fanerozóico no QF é representado por pequenas bacias sedimentares terciárias, intramontanas. Desta forma, podem ser observados, localmente, depósitos sedimentares cenozóicos recobrimdo a seqüência de rochas previamente descrita. Maxwell (1972) descreveu a Formação Fonseca como uma unidade de cerca de 80 m de espessura, de sedimentos argilo-arenosos flúvio-lacustres. Estes seriam recobertos por depósitos rudáceos ferruginosos (canga), incluídos nesta unidade e interpretados como remanescentes da sedimentação na borda da bacia. Em posterior revisão estratigráfica da bacia de Fonseca, Sant’Anna (1994) e Sant’Anna & Schorscher (1997) individualizaram duas unidades estratigráficas distintas: a Formação Fonseca e a Formação Chapada de Canga (Figura 3.4). Esta nova unidade litoestratigráfica, sobreposta à Formação Fonseca, é constituída por conglomerados oligomíticos contendo seixos de itabirito e matriz ferruginosa, que, segundo Dorr (1969), são depósitos elúvio-colúviais cenozóicos, do período Paleógeno. E ainda, Castro & Ferreira (1997) propuseram a criação de uma nova unidade estratigráfica, denominada de Formação Cata Preta. Esta unidade foi identificada no distrito de Santa Rita Durão, próximo às áreas com os campos rupestres quartzíticos estudados. A Formação Cata Preta encontra-se sobreposta pelos conglomerados da Formação Chapada de Canga e seria constituída por arenitos e conglomerados polimíticos relacionados a depósitos de leques aluviais.

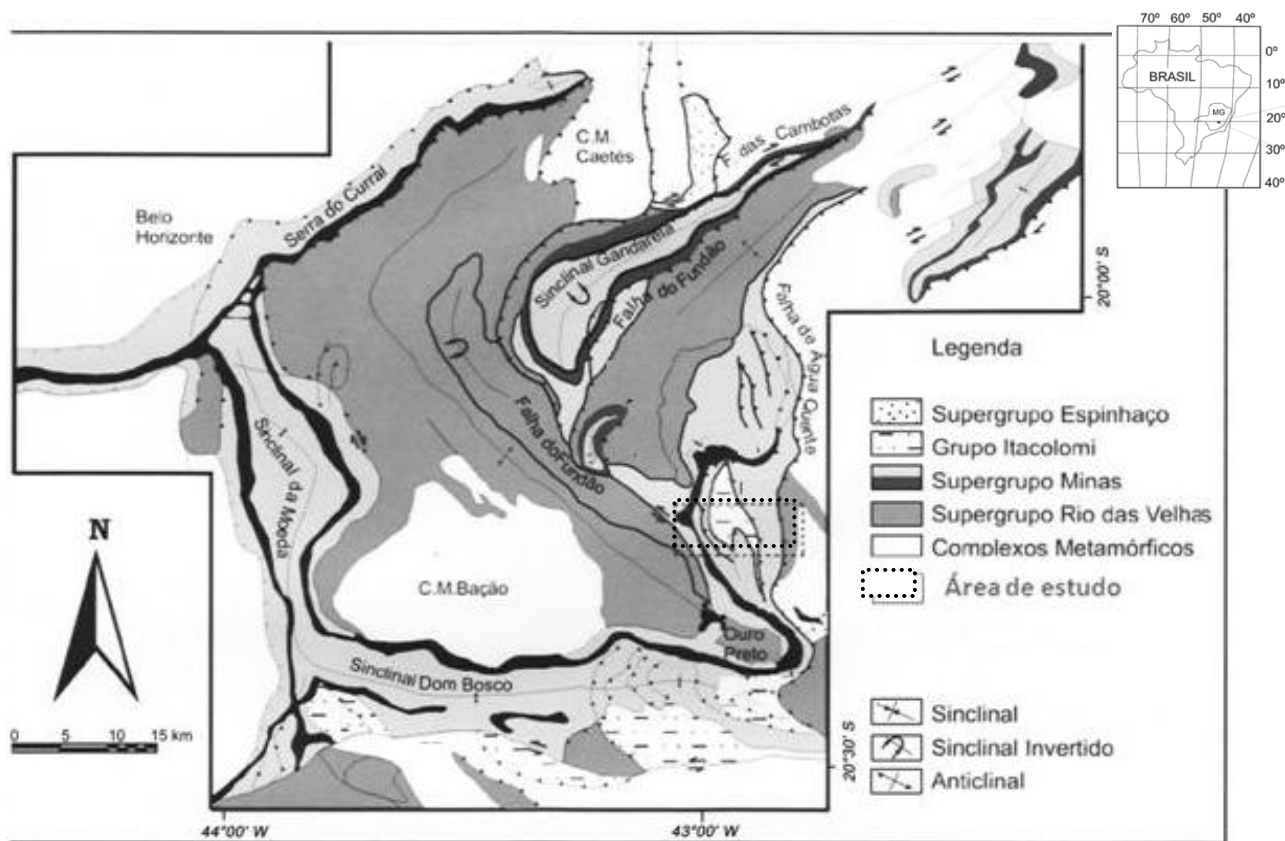


Figura 3.3. Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero (Dorr 1969) modificado por Alkmin & Marshak (1998), indicando a área de estudo.

Em estudos mais recentes, Baltazar *et al.* (2005) ampliaram a distribuição geográfica e a categorização dos sedimentos cenozóicos na região do QF. Estes autores categorizaram estas coberturas recentes em: mudstones, chapadas de canga, sedimentos lacustres, coberturas detrítico-lateríticas, sedimentos flúvio-lacustres, sedimentos plio-pleistocênicos e sedimentos pleistoceno-holocênicos. Estes depósitos ocorrem comumente preenchendo pequenas bacias tectonicamente controladas que remontam desde o Paleógeno até os sedimentos neogênicos mais atuais. As Chapadas de canga possuem capeamento limonítico, contendo seixos, calhaus e matacões de formação ferrífera e, localmente, de hematita. Canga rica e depósitos de talus ricos em hematita são variedades de alto teor de Fe, os quais possuem calhaus de hematita, soltos ou cimentados. Estas formações ocorrem ao longo das serras do Curral, Moeda e Itabirito, no setor oeste do QF; nas serras do Piacó e da Água Limpa (extremidade oeste do Sinclinal Gandarela); na serra da Lagoa Seca (Sinclinal Ouro Fino) e na região montanhosa nos arredores de Ouro Preto e Mariana.

A evolução tectônica e estrutural destas regiões é bastante complexa, sendo objeto de estudos até os dias atuais. As hipóteses mais recentes são tratadas nos trabalhos de Schorsch (1982), Marshak e Alkmin (1989), Varajão (1991, 2009) e Salgado *et al.* (2004, 2006, 2008).

O Quadrilátero Ferrífero trata-se de uma região montanhosa, dobrada, que constitui a extremidade sul do Cráton São Francisco (Almeida 1977). Em um estudo morfométrico, Varajão

(1991) cita que cerca de 8% da área do QF, correspondendo a 605 km², encontra-se em altitude superior a 600m. Embora a evolução da paisagem do QF seja controversa, os diferentes estudos concordam que a mesma seja influenciada tanto pela evolução estrutural, quanto pela erosão diferencial. Dessa forma, os quartzitos e itabiritos, mais resistentes, permaneceram como cristas, enquanto gnaisses migmatíticos, devido a sua menor resistência ao intemperismo e erosão, tornaram-se terras baixas. Xistos e filitos ocupam uma posição intermediária e ocorrem normalmente preenchendo sinclinais e anticlinais topograficamente invertidos (Hader & Chamberlin 1915, Varajão 1991, Varajão *et al.* 2009). O QF constitui, portanto, um mosaico formado por províncias geomorfológicas (Barbosa & Rodrigues 1967), ligadas diretamente às condições estruturais. Espacialmente, as terras altas formadas pelo conjunto das cristas e superfícies erosivas soerguidas possuem a forma aproximadamente quadrangular (Figura 3.1), donde o nome Quadrilátero Ferrífero, formando o entorno das terras baixas, por onde corre o Rio das Velhas, nível de base da região central do QF (Varajão *et al.* 2009). Grande parte dessas cristas é constituída por rochas itabiríticas da Formação Cauê, do Grupo Itabira e Supergrupo Minas (Carvalho Filho 2010).

Os campos rupestres estudados neste trabalho ocorrem nas terras altas sobre quartzito e itabirito, cujas altitudes, nas unidades amostrais, variaram de 900 a 1250m. As rochas ferruginosas pertencem a Formação Cauê, do grupo Itabira, Supergrupo Minas, enquanto que os quartzitos pertencem ao Grupo Maquiné, do Supergrupo Rio das Velhas (Dorr 1969) (Figuras 3.3 e 3.6).

O Supergrupo Rio das Velhas é constituído por rochas metavulcânicas e metassedimentares que caracterizam o *greenstonebelt* homônimo de idade arqueana (Dorr *et al.* 1957). Encontra-se sobreposto ao embasamento cristalino, sendo composto por pacotes de komatitos e basaltos, lavas riolíticas e rochas sedimentares. Suas rochas foram descritas e subdivididas por Dorr *et al.* (1957) em dois grupos: Nova Lima (inferior) e Maquiné (superior). O Grupo Nova Lima, além de formações ferríferas bandadas, é representado pelos filitos, clorita-xisto, rochas metavulcânicas e dolomitos. Apresentam contato com discordância erosional com as rochas sobrejacentes do Grupo Maquiné (Dorr 1969, Maxwell 1972). A porção basal do Grupo Maquiné constitui-se predominantemente de filitos, quartzo xistos e metaconglomerados da Formação Palmital, sotopostos a quartzitos, metaconglomerados e filitos da Formação Casa Forte. O litotipo quartzito das áreas de estudo pertence ao Grupo Maquiné. Os quartzitos são finos, foliados e contêm níveis de metaconglomerados, com seixos quartzosos, apresentando xistosidade. Datações geocronológicas de rochas desse supergrupo, pelo método U-Pb, em zircões de lavas félsicas, produziram idades de 2.776 Ga (Machado *et al.* 1992) enquanto idades, também U-Pb, para zircões e monazitas de rochas metassedimentares atingiram um máximo de 2.857 Ga (Machado *et al.* 1996).

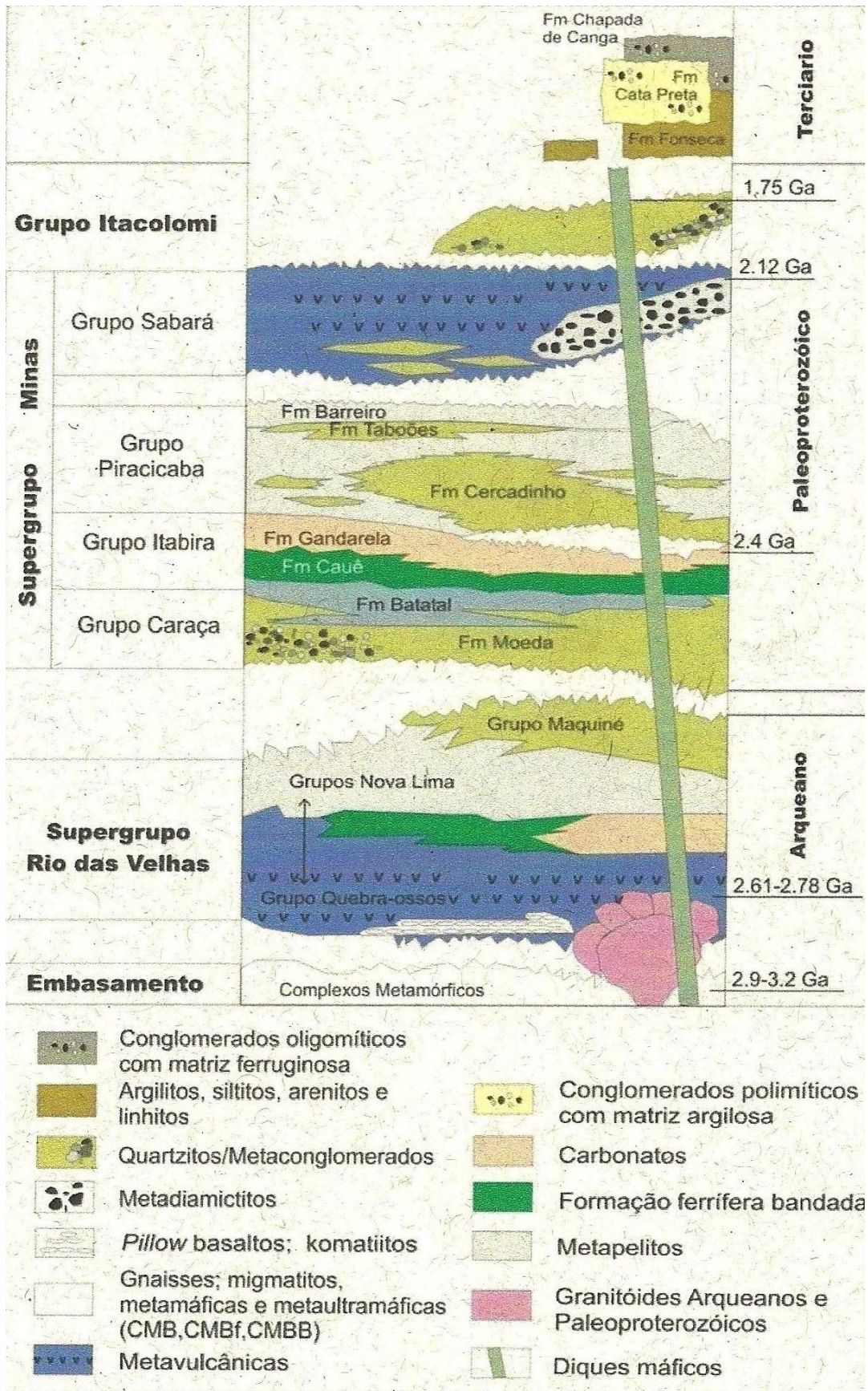


Figura 3.4. Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero de acordo Alkmin e Marshak (1998), modificada por Lana (2010).

De acordo com Eschwege (1833), itabiritos são formações ferríferas metamórficas e fortemente oxidadas apresentando descontinuamente corpos de minério de alto teor (>64% Fe), de morfologia mais ou menos lenticular e dimensões variáveis desde alguns decímetros até centenas de metros. Os itabiritos, ou formações ferríferas bandadas (Banded Iron Formations - BIF), da Formação Cauê, possuem uma grande espessura na Serra de Antonio Pereira, sendo lavrados em varias localidades. Segundo Rosière & Chemale Jr.(2000), o grupo Itabira possui a seqüência mais espessa de formações ferríferas bandadas, com corpos de minério de alto teor economicamente exploráveis, sendo constituído por itabiritos, dolomitos e metapelitos. Essas formações ferríferas são constituídas por bandas ricas em quartzo, alternadas com bandas ricas em óxidos de ferro, principalmente de hematita e subordinadamente de magnetita. As bandas possuem espessura variável (milimétricas a métricas). Além do caráter bandado, essas rochas podem apresentar aspecto xistoso nas bandas ricas em hematita, devido ao *habitus* tabular e respectiva orientação preferencial deste mineral (Varajão *et al.* 2009).

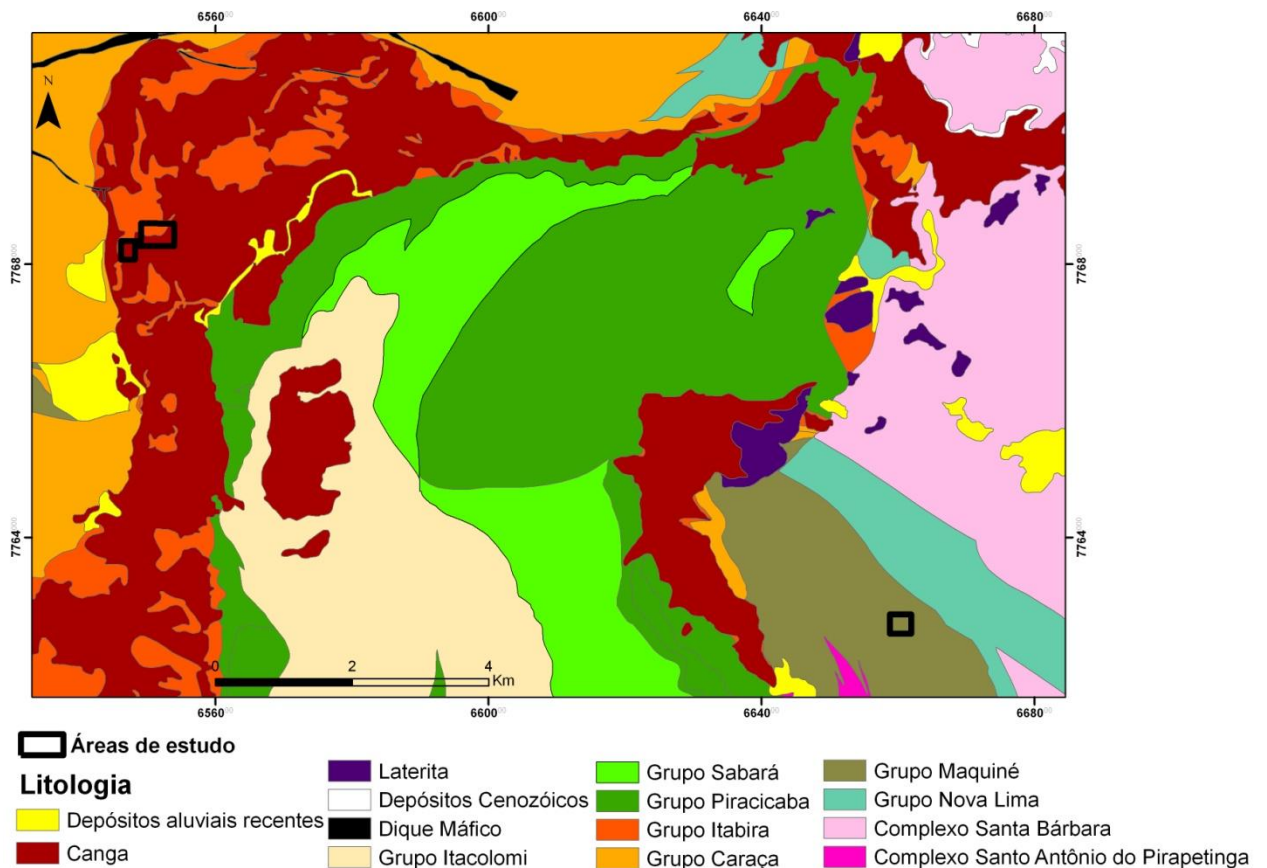


Figura 3.5. Mapa geológico das áreas de estudo (Modificado de Lobato *et al.* 2005)

As formações ferríferas bandadas se encontram, em grande extensão, recobertas pela canga. O termo canga (do tupi: *tapanhoacanga*) é de uso regional, utilizada principalmente em Minas Gerais, referindo-se às crostas superficiais formadas a partir de detritos provenientes do intemperismo (laterização) do itabirito. O processo de laterização leva a formação de uma crosta onde predominam óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, devido à intensa lixiviação da sílica (Alkmim & Marshak 1998). De acordo com Varajão *et al.* (1996a, 1996b, 2000) a alteração supergênica isalterítica dessas rochas é marcada por uma dissolução congruente. Os grãos de quartzo sofrem lento processo de corrosão por dissolução centrípeta e lixiviação da sílica, levando a uma fragilização da estrutura da rocha tornando-a friável e erodível. As hematitas são mais resistentes à dissolução onde apenas uma pequena parte do ferro é lixiviada. A maior parte permanece no perfil, formando plasmas hematíticos ou goetíticos, preenchendo fissuras e cavidades geradas pela alteração supergênica dos constituintes da rocha. As magnetitas, por sua vez, podem ser martitizadas. Quando parcialmente martitizadas, podem apresentar núcleos de maghemita ou kenomagnetita, os quais são mais suscetíveis ao processo de dissolução supergênica, gerando cavidades que, juntamente com as fissuras, são as principais responsáveis pela microporosidade do horizonte C (Varajão *et al.* 2002). O ferro originado da dissolução dos óxidos primários passa por inúmeras etapas de dissolução/reprecipitação, tendendo progressivamente a apagar a textura inicial do itabirito, gerando um horizonte incipiente, no qual se podem reconhecer fragmentos da rocha-mãe, conhecido como canga. Quando, numa canga, a estrutura da rocha é macroscopicamente reconhecível, usa-se a denominação canga estruturada, tratando-se de um horizonte C (Varajão *et al.* 2009). Ainda de acordo com estes autores, as cangas, embora mecanicamente resistentes, podem ser destruídas na base, devido a eventuais oscilações do lençol freático, ou no topo, pela ação dos agentes intempéricos biogênicos, gerando um horizonte A superficial pouco espesso, constituído de pequenas partículas ferruginosas que guardam, internamente, as mesmas características texturais, químicas e mineralógicas da canga que foi desagregada.

Rizzini (1997) classifica as couraças lateríticas em contínuas ou fragmentadas, sendo denominadas cangas couraçadas e cangas nodulares, respectivamente. A profundidade dessa crosta varia de alguns metros até dezenas de metros e protege as formações ferríferas subjacentes da oxidação e hidratação permitindo maior efetividade da lixiviação da sílica (Rosière & Chemale Jr. 2000). Estes mesmos autores, com base em características químicas, mineralógicas e estruturais classificaram os principais produtos de intemperismo dos itabiritos no Quadrilátero Ferrífero em três tipos: a. cangas e rolados; b. minério e itabirito friável e c. Itabirito “chapinha”. Na área de estudo encontramos o itabirito dolomítico, como minério de alto teor e friável, apresentando bandamento conspícuo, aflorando principalmente em áreas nos topos dos perfis, aonde provavelmente a crosta laterítica foi erodida. As crostas lateríticas, cuja espessura é variável, apresentam-se na forma de um lajeado contínuo (canga couraçada), cobrindo a maior parte das áreas sobre o itabirito.

3.1.4. Os solos

Os solos de campos rupestres podem ser generalizados como sendo pobres em nutrientes, com baixa capacidade de troca catiônica (CTC), altos níveis de elementos tóxicos, especialmente Al nos quartzitos e Fe nos itabiritos (Benites *et al.* 2003, Conceição *et al.* 2007b). Além disso, possuem também algumas características físicas em comum que limitam o crescimento das plantas, sendo rasos e arenosos, muitas vezes constituídos por pequenas ilhas de solo circundadas por blocos de rochas aflorantes. Por serem arenosos, possuem baixa capacidade de campo, aonde as espécies adaptadas mostram-se tolerantes ao déficit hídrico. No entanto, dependendo da topografia e características das rochas, podem também exibir drenagem deficiente, formando ambientes brejosos ou temporariamente alagados (Jacobi *et al.* 2007, Benites *et al.* 2003), ou ainda formarem microambientes alagáveis (Porembski 2007) aonde as espécies mostram-se adaptadas ao encharcamento (Conceição *et al.* 2007b, Sousa 1997).

Em função das restrições nutricionais, associadas às baixas temperaturas médias anuais, a decomposição da matéria orgânica é lenta, ocorrendo acúmulo de substâncias húmicas no solo. A matéria orgânica desempenha um importante papel na retenção de umidade, no aporte de nutrientes e na complexação de Fe, Al e outros metais sendo considerada como fator fundamental nos processos de gênese dos solos e de sustentabilidade deste ecossistema (Benites *et al.* 2001).

Segundo Benites *et al.* (2001), grande parte dos solos identificados nas áreas dos complexos rupestres de altitude não tem classificação definida pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA 1999) ao nível de grandes grupos e subgrupos. Subordens que ocorrem com frequência neste ambiente, como os Neossolos Litólicos, têm classificação provisória no quarto nível categórico. Estes solos são pouco estudados devido a sua pouca importância agrícola e por estarem em regiões de difícil acesso. No entanto, o conhecimento destes solos é de fundamental importância para a identificação de fatores do meio físico que condicionam características da biota a ele associada. De acordo com Carvalho Filho *et al.* (2010), a influência do material de origem nas características dos solos dos campos rupestres do QF é marcante, com destaque para os solos derivados de rochas ferríferas, distinguidos pelos elevados teores de óxidos de ferro imprimindo intensa coloração vermelha e pela frequente ocorrência de concreções ferruginosas.

As variações topográficas e microtopográficas imprimem diferentes tipos de pedoambientes nos campos rupestres. Há áreas aonde ocorre grande porcentagem de afloramentos rochosos, formando ilhas de solos rasos, espaçadas pelos blocos de rochas. Estas áreas normalmente são bastante íngremes, sujeitas a grande transporte de sedimentos pelas águas da chuva para as regiões mais baixas. Outras áreas são mais propícias aos depósitos coluviais, como as porções mais baixas dos perfis, ou porções côncavas do relevo que, somados ao material autóctone, propiciam a formação de solo contínuo, ainda que também seja raso, é mais relativamente profundo que nas áreas íngremes. Nessas áreas podem ocorrer, além dos Neossolos litólicos, também os Cambissolos, Espodossolos e ainda, aonde a

drenagem é mais deficiente, os Organossolos (Benites *et al.* 2007). Os solos nos diferentes campos rupestres estudados foram classificados como Neossolos litólicos (EMBRAPA 1999).

3.1.5. Clima

O clima, de acordo com a classificação de Köppen é Cwb, i.e. mesotérmico, com a estação chuvosa de novembro a março e invernos secos (Nimer 1989).

A precipitação média anual é de 1250 mm. Os dados pluviométricos da Serra de Antônio Pereira, dos anos 2007 a 2009, encontram-se na Figura 3.6. Apesar de apresentarem chuvas sazonais, nos campos rupestres ocorre a formação de orvalho pela elevada queda de temperatura noturna, reduzindo o déficit hídrico nos meses secos (Harley & Simmons 1986). Já a umidade relativa do ar é alta, as médias oscilam entre 78%, no inverno, a 86% no verão.

A temperatura média anual é de cerca de 20°C, sendo que nos meses mais quentes (novembro a fevereiro) a média supera os 21°C, e nos meses mais frios (junho a agosto) a média fica em torno dos 16°C. As temperaturas máximas alcançam aproximadamente 30°C no verão e as mínimas, no inverno, alcançam valores abaixo de 10°C (Figura 3.7).

Os ventos são fracos (Figura 3.8) e sopram predominantemente do leste.

Os dados climatológicos foram fornecidos pela Samarco Mineração S.A., obtidos de uma estação localizada próxima a esta área.

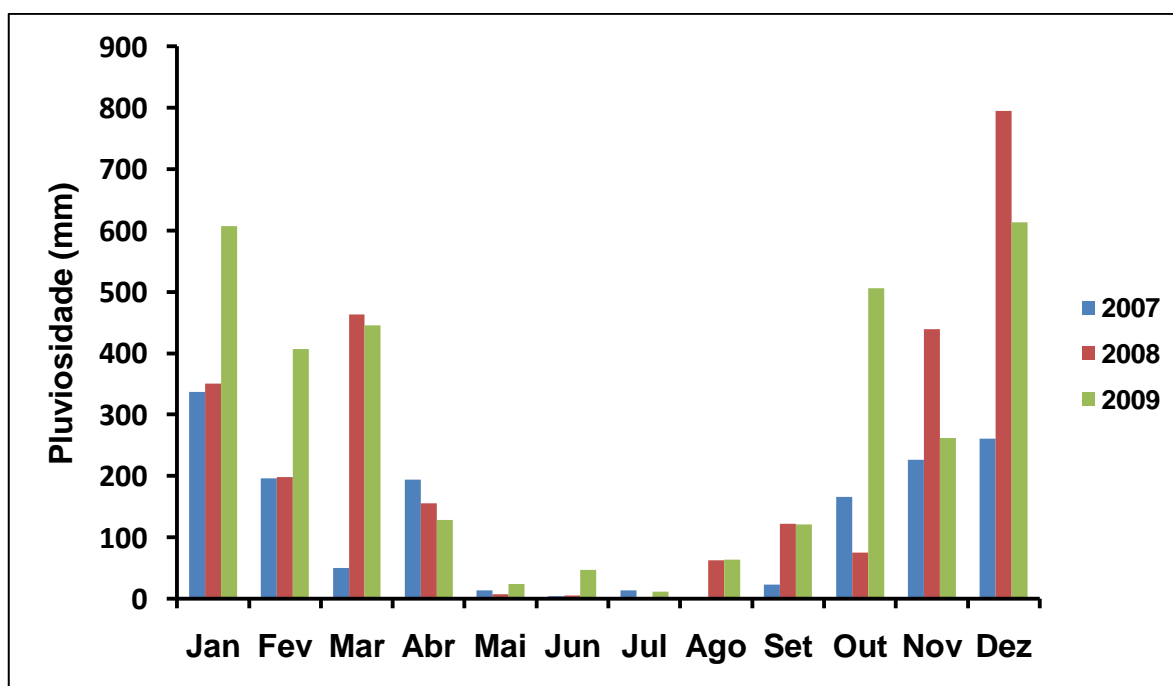


Figura 3.6. Pluviosidade (mm) nos anos de 2007 a 2009 na Serra de Antonio Pereira, Ouro Preto, MG. (Dados fornecidos pela Samarco Mineração S.A.)

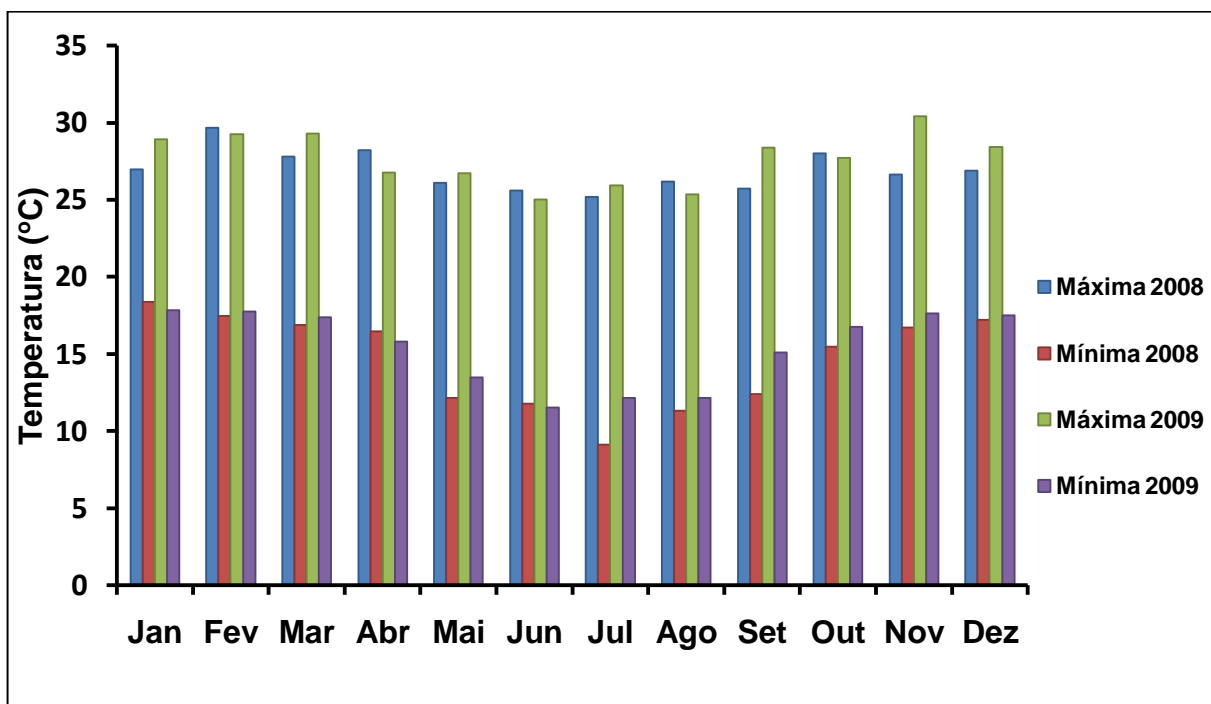


Figura 3.7. Temperatura máxima e mínima (°C) nos anos de 2008 e 2009 na Serra de Antonio Pereira, Ouro Preto, MG. (Dados fornecidos pela Samarco Mineração S.A.)

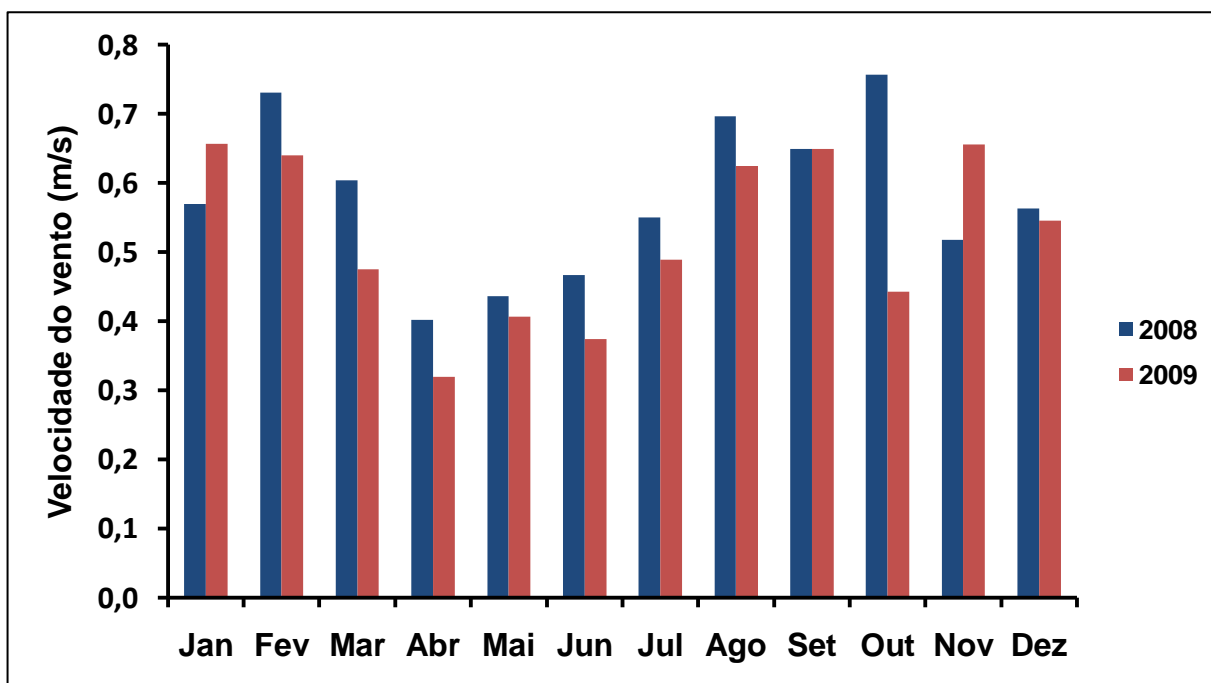


Figura 3.8. Velocidade do vento (m/s) nos anos de 2008 e 2009 na Serra de Antonio Pereira, Ouro Preto, MG. (Dados fornecidos pela Samarco Mineração S.A.)

3.2. Coleta de dados

3.2.1. Áreas experimentais

Os campos rupestres sobre os litotipos quartzito e itabirito foram estratificados pelas geoformas em três diferentes tipos de habitats, definidos como: 1. Áreas inclinadas com afloramentos rochosos, nos topos das elevações, com campos limpos; 2. Patamares na porção mediana das encostas, com inclinação não ultrapassando a 10%, com campos limpos e 3. Vales ou depressões localizadas nas porções mais baixas ou côncavas dos perfis, com campos sujos (Figura 3.9). Em cada litologia, foram estabelecidas 30 parcelas (10 x 10m), sendo 10 em cada habitat estratificado pela geoforma. A suficiência amostral foi verificada pelas curvas espécies x área.

Os campos rupestres em áreas inclinadas com afloramentos rochosos de itabirito (IAF) possuem rochas aflorantes exibindo o bandamento típico do itabirito (Figura 3.10). O substrato dos campos rupestres, nos patamares sobre itabirito (IPL), apresenta afloramentos de concreções ferruginosas, oriundas da laterização do itabirito, conhecidas como cangas couraçadas (Figura 3.11). O solo em IAF e em IPL consiste do horizonte A com profundidade variável, porém não ultrapassando 10 cm. Os campos sujos sobre itabirito (ICS) também apresentam cangas, parcialmente cobertas por solo coluvial, com profundidade variável, mas não ultrapassando 25 cm (Figura 3.12). Os campos rupestres inclinados com afloramentos rochosos de quartzito (QAF) exibem uma grande proporção de rochas aflorantes, com o solo muito raso (< 10cm), ocupando espaços entre os blocos de rochas ou formando pequenas ilhas de solo nas depressões (Figura 3.13). Os campos rupestres nos patamares sobre quartzito (QPL) exibem solo raso, não ultrapassando 30 cm de profundidade, contínuo e com raros afloramentos rochosos (Figura 3.14). Os campos sujos sobre quartzito (QCS) apresentam solo arenoso coluvial mais profundo que nos outros habitats, com o horizonte A (até 40cm) sobre a rocha, com ocasionais afloramentos rochosos (Figura 3.15).

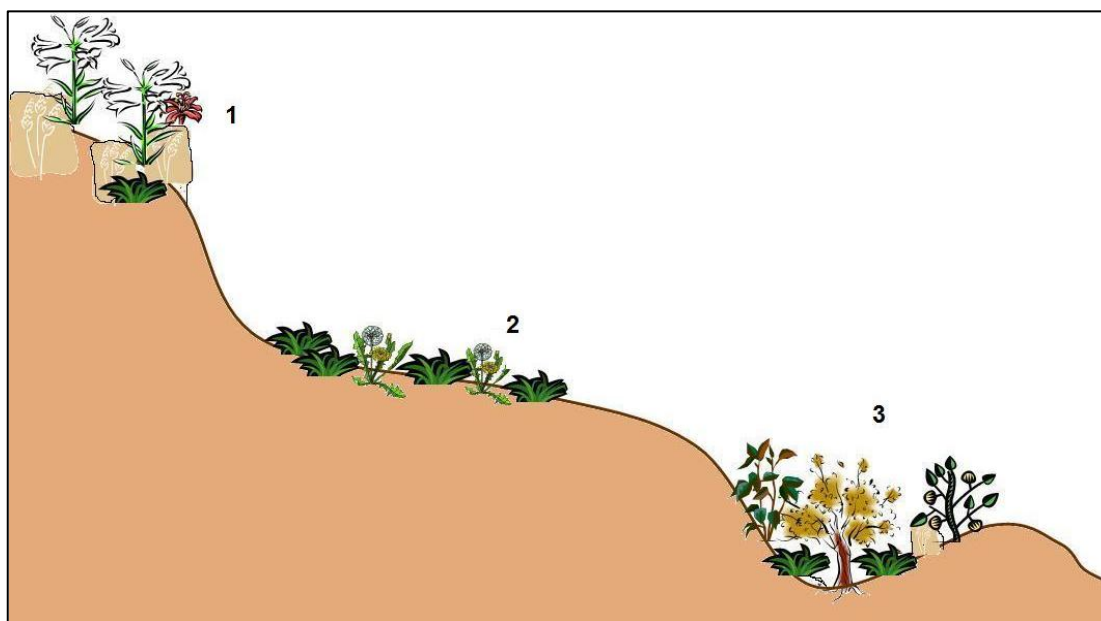


Figura 3.9. Habitats estratificados pelas geoformas nos campos rupestres sobre os diferentes litotipos. 1 = Áreas inclinadas com afloramentos rochosos, nos topos das elevações; 2 = Patamares na porção mediana das encostas, com inclinação não ultrapassando a 10% e 3 = Vales ou depressões localizadas nas porções mais baixas ou côncavas dos perfis com formações campestres, com campos sujos.



Figura 3.10. Campos rupestres sobre afloramentos de itabirito (IAF). No detalhe o substrato com as formações ferríferas bandadas aflorantes.



Figura 3.11. Campos rupestres em patamares sobre canga (IPL). No detalhe, o substrato constituído de concreções ferruginosas conhecidas como canga couraçada.



Figura 3.12. Campos rupestres (campo sujo) sobre canga (ICS). No detalhe, o substrato constituído por canga couraçada, parcialmente cobertas por material coluvionar.



Figura 3.13. Campos rupestres em áreas inclinadas, com afloramentos de quartzito (QAF). No detalhe, o substrato constituído por ilhas de solo arenoso, muito raso, ocupando depressões na rocha.



Figura 3.14. Campos rupestres nos patamares sobre quartzito (QPL). No detalhe, o substrato, constituído de solo arenoso, raso, contínuo, com raros afloramentos rochosos.



Figura 3.15. Campos rupestres (campos sujos) sobre quartzito (QCS). No detalhe, o substrato, constituído de solo arenoso, relativamente mais espesso que nos outros habitats, contínuo, com ocasionais afloramentos rochosos.

3.2.2. Coleta e análises de solo

Em cada parcela, foram coletadas aleatoriamente três amostras de solo na profundidade de 0-10cm, misturadas e devidamente acondicionadas para proceder as análises químicas, granulométricas, mineralógicas e de umidade (Figura 3.16). As amostras foram coletadas no final da estação seca, em agosto/2008.

Uma parte das amostras frescas de solo foi separada, acondicionada em saco plástico e identificada, para análises do teor de umidade e de nitrogênio disponível. Uma segunda parte das amostras, com cerca de 1Kg, foi separada para realização das análises granulométricas. Uma terceira parte das amostras, também com cerca de 1Kg, foi separada para as análises químicas. Estas amostras foram peneiradas em peneiras com malhas de 2 mm para obtenção das frações com grânulos menores que 2mm (terra fina seca), acondicionadas, identificadas e secas em estufa a temperatura controlada de 40°C. Desta fração, foram analisados o teor de matéria orgânica, fósforo remanescente (Pr), o teor disponível de Al, K, Ca, Mg, P, S, Cu, Fe, Mn e Zn; soma de bases (SB) pela soma dos teores disponíveis de Ca, Mg e K; a capacidade de troca catiônica efetiva (CEC), baseada na soma de bases; a saturação de bases (V%) como a percentagem de SB em relação a CEC; a saturação de Al (m), calculada baseada na CEC. Também foram determinados o pH em água e a acidez potencial (H+Al). Para a determinação de P, K, Cu, Zn, Mn e Fe foi utilizado o extrator Mehlich 1; para Al, Ca e Mg, o extrator KCl a 1 mol.L⁻¹; para determinar H+Al, o extrator Ca(OAc)₂ a 0,5 mol.L⁻¹, em pH 7,0; para o enxofre utilizou-se fosfato monocálcico em ácido acético; para a matéria orgânica, a técnica de Walkley-Black e para determinação do N total o método semi-micro Kjeldahl. Todos os procedimentos dessas análises de solo foram realizados no Laboratório de Fertilidade de Solos da Universidade Federal de Viçosa, de acordo com a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997).



Figura 3.16. Coleta de amostras de solo em campos rupestres quartzíticos.

A análise química dos elementos totais (maiores, menores e traços) foi realizada por espectrometria de emissão atômica, via plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), utilizando o equipamento SPECTRO CIRUS - CCD RADIAL do Laboratório de Geoquímica Ambiental (DEGEO/UFOP). A metodologia de Moutte (2003) foi utilizada para a digestão total das amostras de solos de cada parcela, utilizando-se a fração menor que 63 μ m. Desta forma, foram determinados os teores totais dos seguintes elementos Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, S, Sr, Ti, V, Y e Zn.

Para a caracterização mineralógica, utilizou-se 1g da fração com granulometria menor que 63 μ m de 4 amostras de solo de cada habitat. A análise foi realizada por difração de raios-X, pelo método do pó total e difratômetro Rigoku, modelo D-MAX B, equipado com tubo de Cobre, do Laboratório de Difractometria de Raios X, do Departamento de Geologia, da Universidade Federal de Ouro Preto.

A determinação do teor de umidade do solo foi feita pelo método gravimétrico (EMBRAPA 1997). Pesaram-se as amostras de solo fresco (úmido) e após 7 dias de secagem em estufa a 100°C, quando as amostras atingiram o peso constante, sendo a umidade determinada pela diferença do peso obtido entre as pesagens.

Para as análises granulométricas, as amostras de solo de cada parcela foram também secas em estufa, a temperatura de 40°C. Determinou-se a percentagem de calhaus (20-200mm), cascalhos (2-20mm) e de grânulos finos (terra fina seca) (< 2mm). Da fração de terra fina seca das amostras determinou-se a proporção de areia grossa (0.2- 2mm), areia fina (0.05-0.2mm), silte (0.002-0.05mm) e argila (< 0.002mm) de acordo com os procedimentos descritos pela EMBRAPA (1997). A composição granulométrica foi determinada por dispersão da terra fina seca com NaOH 0,1 N, sob agitação em alta rotação. A areia grossa e a fina foram separadas em peneiras de malha 0,2 e 0,05 mm, respectivamente. A argila foi determinada gravimetricamente em alíquota coletada com pipeta, após a sedimentação do silte, que foi obtido por diferença.

A distribuição cumulativa das partículas do solo foram plotadas na escala phi (Φ) (Folk 1980), usando a expressão 3.1

$$\Phi_d = -\log_2 d \quad (3.1)$$

Onde: d é o diâmetro do grão em mm da partícula correspondente ao dado percentil.

A medida de tendência central (Mz) e grau de seleção (σ_1) foram calculados de acordo com Folk & Ward (1957), usando-se as expressões 3.2 e 3.3.

$$Mz = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}) / 3 \quad (3.2)$$

$$\sigma_1 = (\Phi_{84} - \Phi_{16}) / 4 + (\Phi_{95} - \Phi_5) / 6,6 \quad (3.3)$$

Os valores de σ_1 foram classificados de acordo com Suguio (1973).

A percentagem da área da projeção vertical ocupada por rochas aflorantes em cada parcela (BR) foi estimada visualmente.

3.2.3. Coleta de dados da flora dos campos rupestres

O levantamento florístico foi realizado de setembro de 2007 a fevereiro de 2009, em excursões semanais ao campo. Todas as espécies foram coletadas, herborizadas, identificadas, classificadas de acordo com o APG (2009) e depositadas no Herbário Professor Jose Badini (OUPR), da Universidade Federal de Ouro Preto. Duplicatas do material herborizado foram enviadas aos especialistas para identificação ou confirmação da identificação das espécies.

Foram inventariadas todas as espécies ocorrentes e estimado visualmente o respectivo percentual de cobertura como uma medida de dominância, pela projeção vertical das partes aéreas de cada espécie em relação à área da parcela (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974, Westhoff & Maarel 1978). De acordo com Mueller-Dombois & Ellenberg (1974) o uso da cobertura é preferível ao uso da densidade. A cobertura é mais relevante do que a densidade porque é um bom indicador da biomassa da população, desde que avaliada por estratos verticais. A biomassa reflete o desempenho da população na competição pelos fluxos de matéria e energia na comunidade, mas é mais difícil de ser estimada. Por outro lado, cobertura pode ser avaliada para qualquer forma vegetal, o que não acontece com densidade. A cobertura pode ser estimada visualmente quando a comunidade vegetal é observada no seu todo. A escala combinada de abundância-cobertura de Braun-Blanquet (1964) é a mais conhecida dentre as várias existentes. Maiores detalhes dessa metodologia podem ser encontrados em Mueller-Dombois & Ellenberg (1974:45-92). A metodologia utilizada para a estimação do percentual de cobertura foi semelhante ao método de Braun-Blanquet (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974), no entanto, os valores atribuídos foram contínuos ao invés de categorizados pela escala de cobertura de Braun-Blanquet.

As espécies foram classificadas quanto as suas formas de vida de acordo com Raunkiaer (1934). Este sistema foi proposto para ser aplicado às plantas vasculares, aonde as formas de vida foram classificadas de acordo com a posição e o grau de proteção das gemas em: fanerófitas, caméfitas, hemicriptófitas, criptófitas e terófitas (Figura 3.17), explicitados a seguir.

Os fanerófitos apresentam gemas vegetativas acima de 25 cm de altura, em sistemas aéreos bem expostos à atmosfera. Geralmente, são arbustos ou árvores. Mueller-Dombois & Ellenberg (1974) dividiu os fanerófitos em grupos de acordo com sua altura. No sistema original, Raunkiaer (1934) dividiu os fanerófitos em 15 subtipos, incluindo as lianas, as parasitas e os epífitos: fanerófitos herbáceos (único subtipo), fanerófitos perenifólios ou decíduos com ou sem cobertura da gema (12 subtipos de acordo com a altura), fanerófitos com caule suculento (único subtipo) e fanerófitos epifíticos (único subtipo).

Os caméfitos apresentam gemas vegetativas acima da superfície do solo, porém abaixo de 25 cm de altura. Na estação adversa das regiões tropicais, as gemas vegetativas dos caméfitos ficam protegidas pelos restos mortos do sistema aéreo, ou pela camada de serrapilheira, ou ainda pelo sistema aéreo muito denso que permanece vivo.

Os hemicriptófitos apresentam gemas vegetativas no nível do solo e não abaixo dele como os criptófitos. Frequentemente, tais gemas são protegidas por escamas, folhas ou bainhas foliares vivas ou mortas, assim como pela serrapilheira.

Criptófitos são vegetais que apresentam gemas vegetativas no sistema subterrâneo. Este representa uma estrutura de armazenamento e brotamento (além de fixação, absorção e condução), cujas gemas, abaixo do nível do solo, ficam pouco vulneráveis à estação desfavorável. Estas estruturas subterrâneas podem ser bulbos ou cormos, tubérculos, rizomas ou raízes gemíferas. Durante a estação desfavorável, normalmente toda a parte aérea dos geófitos seca. No início da estação favorável, os geófitos brotam graças às reservas acumuladas em seu sistema subterrâneo e restauram seu sistema aéreo, podendo florescer e frutificar.

Terófitos são plantas anuais que completam seu ciclo de vida, desde a germinação até a maturação de seus frutos, dentro de uma mesma estação favorável e cujas sementes sobrevivem à estação desfavorável protegidas pelo substrato. Representam o máximo grau de proteção à gema vegetativa, localizada no próprio eixo embrionário das sementes.

Os dados das formas de vida de cada espécie foram usados para construção dos espectros florísticos, de frequência e vegetacional para cada habitat ou conjunto de habitats. Somente foram consideradas as principais classes de formas de vida de Raunkiaer (1934): fanerófitas, caméfitas, hemicriptófitas, criptófitas e terófitas. Lianas e epífitas foram incluídas em fanerófitas, enquanto geófitas e saprófitas foram incluídas na classe das criptófitas, como originalmente proposto por Raunkiaer (1934). As espécies foram consideradas como pertencentes a apenas uma forma de vida, sendo aquela em que as gemas estivessem menos protegidas, como sugerido por Batalha & Martins (2004). Para elaboração dos espectros de frequência e de vegetação, as espécies foram ponderadas pelas respectivas frequências e coberturas (Raunkiaer 1934).

3.3. Análises dos dados

3.3.1. Análises estatísticas

Todas as variáveis mensuradas foram inicialmente submetidas ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e de homogeneidade de variâncias de Bartlett. Como as variáveis de solo não apresentaram distribuição normal, mesmo após a transformação dos dados, foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis e o respectivo teste de comparações múltiplas para verificar diferenças entre os

diversos habitats com relação às variáveis medidas. Para esta análise foi utilizado o *software* R - Package Pgirmess for Ecological Data Analysis (R Development Core Team 2008).

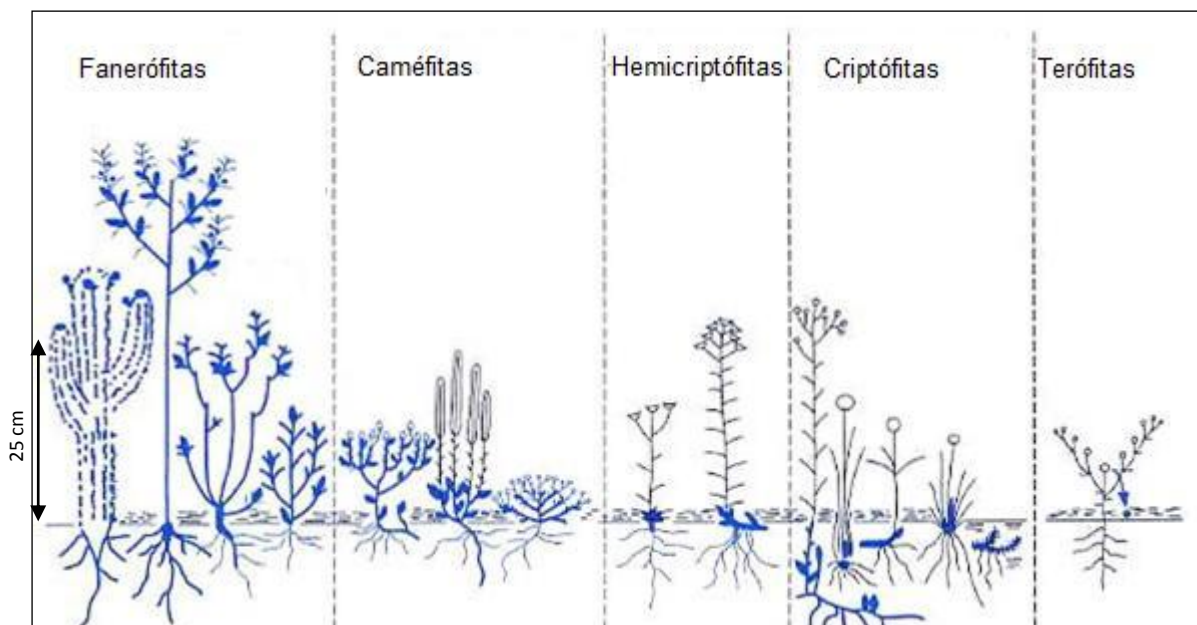


Figura 3.17. Diagrama ilustrativo das formas de vida dos vegetais de acordo com Raunkiaer (1934)

Foram estimados os coeficientes de correlação de Spearman entre as variáveis ambientais utilizando o *software* Statistica (Statsoft Inc. 2001).

Para investigar a relação entre a dominância de espécies e as variáveis de solo nas 60 unidades experimentais foi realizada uma análise de correspondência canônica (CCA). Segundo Ter Braak (1987), este método de ordenação consiste basicamente em sintetizar, em um gráfico com eixos perpendiculares, a variação multidimensional de um conjunto de variáveis. No presente caso, espécies e variáveis ambientais foram transformadas em coordenadas (*scores*) correspondentes à sua projeção em cada eixo de ordenação (*eigenvector*). O autovalor (*eigenvalue*) é o peso relativo de cada eixo na explicação da variância total dos dados. Como requerido pela CCA, os dados foram organizados em duas matrizes: a de espécies e a de variáveis ambientais (características do solo). A matriz de espécies foi constituída pelos valores dos percentuais de cobertura de cada espécie por parcela, incluindo apenas aquelas com valores médios maiores que 0,15%. Variáveis ambientais redundantes ou com baixa correlação com os eixos de ordenação ($-0.3 < r < 0.3$) foram excluídas dessa análise. O software utilizado foi o PCOrd (McCune & Mefford 1999). Utilizou-se o teste de permutação de Monte Carlo para avaliar o nível de significância dos principais eixos de ordenação canônica, avaliando a probabilidade de acertos nas relações encontradas entre as correlações entre as variáveis vegetais e as ambientais (Ter Braak & Prentice 1988). No diagrama de ordenação produzido pela CCA, as espécies e as parcelas foram representadas por pontos e as variáveis ambientais por vetores que indicam a direção das mudanças destas variáveis no espaço de ordenação (Ter Braak 1987, Ter Braak & Prentice 1988, Ter Braak 1995). Este diagrama possibilita a visualização não apenas de um padrão de variação da comunidade, como padrão de ordenação, mas também das principais características responsáveis

pelas distribuições das espécies ao longo das características ambientais (Ter Braak 1987). Dessa forma, espécies e parcelas aparecem no diagrama de ordenação como pontos correspondentes aos seus ótimos aproximados no espaço bidimensional. As variáveis ambientais contínuas aparecem como setas, indicando a direção do seu aumento no espaço de ordenação, aonde o comprimento das setas é proporcional à sua importância na explicação da variância projetada no eixo.

Os espectros biológicos dos habitats foram comparados pela análise de homogeneidade (Zar 1999) para verificar a significância das diferenças nas proporções de formas de vida.

3.3.2. Florística e Fitossociologia

Foram calculadas a frequência absoluta (FA), frequência relativa (FR), dominância absoluta (DoA), dominância relativa (DoR) e valor de importância (VI) para cada espécie aonde os parâmetros de dominância foram calculados a partir dos valores de cobertura de acordo com as fórmulas 3.4 a 3.8 (Magurran 2004).

$$FA\ i = (n_i / N) \times 100 \quad (3.4)$$

Onde: FA i = frequência absoluta da espécie i; n_i = número de unidades amostrais onde foi encontrada a espécie i; N = número total de unidades amostrais

$$FR\ i = (FA\ i / \sum FA) \times 100 \quad (3.5)$$

Onde: FR i = frequência relativa da espécie i; FA i = frequência absoluta da espécie i; $\sum FA$ = somatório das frequências absolutas das espécies

$$DoA\ i = (\sum PC\ i / N) \times 100 \quad (3.6)$$

Onde: DoA i = dominância absoluta da espécie i; PC i = percentual de cobertura da espécie i por unidade amostral; N = número total de unidades amostrais

$$DoR\ i = (DoA\ i / \sum DoA) \times 100 \quad (3.7)$$

Onde: DoR i = dominância relativa da espécie i; DoA i = dominância absoluta da espécie i; $\sum DoA$ = somatório das dominâncias absolutas das espécies

$$VI\ i = (FR\ i + DoR\ i) / 2 \quad (3.8)$$

Onde: VI i = índice de valor de importância da espécie i; FR i = frequência relativa da espécie i; DoR i = dominância relativa da espécie i

Foram ainda calculados, para cada habitat, ou conjunto de habitats, a diversidade de espécies pelo índice de Shannon-Wiener (H') e equabilidade de Pielou (J') (Magurran 2004), de acordo com a fórmulas 3.9 e 3.10.

$$H' = - \sum p_i (\ln p_i) \quad (3.9)$$

Onde: H' = Índice de diversidade de Shannon-Wiener; p_i = dominância relativa da espécie i ; $\ln p_i$ = logaritmo natural de p_i

$$J' = H' / \ln S \quad (3.10)$$

Onde: J' = índice de equabilidade de Pielou; H' = Índice de diversidade de Shannon-Wiener; S = número total de espécies amostradas; $\ln S$ = logaritmo natural de S

Para interpretar a similaridade florística entre as parcelas empregou-se a análise de agrupamentos de médias não ponderadas (UPGMA), utilizando-se o índice de similaridade de Jaccard (IS_j) como medida de distância (Jongman *et al.* 1995). A partir dessa análise, foi elaborado um dendrograma, onde se observam as hierarquias entre os grupos formados. Para essa análise foi utilizado o programa PAST (Hammer *et al.* 2001). A análise de adequação dos agrupamentos foi feita pela estimativa do coeficiente de correlação cofenético (Valentin 2000). Para efeitos de comparação, calculou-se também os valores de similaridade (IS_j) entre os habitats analisados, assim como entre os campos ferruginosos e quartzíticos estudados e outros levantamentos florísticos de campos rupestres do Quadrilátero Ferrífero, de acordo com a fórmula 3.11 (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974).

$$IS_{j\ a,b} = C / A + B + C \quad (3.11)$$

Onde: $IS_{j\ a,b}$ = Similaridade florística pelo índice de Jaccard entre os habitats a e b ; C = número de espécies comuns aos dois habitats; A = número de espécies exclusivas do habitat a ; B = número de espécies exclusivas do habitat b

3.4. Forma de apresentação dos resultados

Os resultados estão apresentados em forma de artigos científicos, divididos por capítulos, correspondendo aos capítulos 4, 5 e 6. As figuras e tabelas constantes dos artigos foram renumeradas para o atendimento às normas de diagramação de teses do Programa de pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, da Universidade Federal de Ouro Preto. A diagramação restante dos artigos atende às normas das revistas a que foram submetidos.

CAPÍTULO 4

FLORÍSTICA E FITOSSOCIOLOGIA DE CAMPOS RUPESTRES QUARTZÍTICOS E FERRUGINOSOS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS*¹

Autores: Maria Cristina Teixeira Braga Messias^{1,4}; Mariangela Garcia Praça Leite²; João Augusto Alves Meira-Neto³; Alessandra Rodrigues Kozovits¹

¹Departamento de Biodiversidade, Evolução e Meio Ambiente, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais; ²Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais; ³Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais; ⁴Autor para correspondência (cristina@iceb.ufop.br).

*¹ Artigo submetido à Acta Botânica Brasilica.

RESUMO (Florística e fitossociologia de campos rupestres quartzíticos e ferruginos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais). Foram estudadas a florística e fitossociologia de duas áreas em campos rupestres quartzíticos e ferruginos de MG. Objetivou-se verificar se os litotipos e as geoformas influenciam a vegetação dessas comunidades. Os campos rupestres de ambas litologias foram estratificados pelas geoformas em: 1. Áreas inclinadas, nos topos das elevações, 2. Patamares e 3. Porções inferiores ou côncavas dos perfis, com campos sujos. Amostraram-se 60 parcelas (10x10m), 10 em cada habitat. Estimou-se a cobertura e calculou-se a frequência, dominância e valor de importância (VI) das espécies. Calculou-se a diversidade pelo índice de Shannon-Wiener (H') e equabilidade de Pielou (J') para cada habitat. Análise de agrupamentos e o índice de Jaccard foram usados para estimar a similaridade entre os habitats. Inventariou-se 165 espécies nos campos quartzíticos e 160 nos ferruginos. Nos campos ferruginos inclinados e nos patamares *Vellozia compacta* foi a espécie de maior VI. Nos campos inclinados com afloramentos quartzíticos *Lagenocarpus rigidus* foi a espécie com maior VI, seguida por algumas fanerófitas. *Echinolaena inflexa* foi a espécie de maior importância nos patamares sobre quartzito, seguida por algumas fanerófitas e várias hemipterófitas. Os campos sujos sobre itabirito foram dominados por *E. erythropappus* e *V. compacta* enquanto que os campos sujos sobre quartzito por *Echinolaena inflexa*, *Eremanthus erythropappus* e outras fanerófitas. Os campos sujos foram mais diversos que os campos limpos. Os campos rupestres ferruginos apresentaram menor diversidade ($H'=2,92$) e equabilidade ($J'=0,58$) do que os quartzíticos ($H'=3,36$; $J'=0,66$). A análise de agrupamentos indicou a formação de grupos definidos pelos diferentes litotipos e geoformas. Os resultados evidenciaram os litotipos e as geoformas como determinantes da distribuição de algumas das populações, afetando a composição florística.

Palavras-chave: Cadeia do Espinhaço, campos ferruginosos, campos quartzíticos, canga, Quadrilátero Ferrífero

ABSTRACT (Floristics and phytosociology of quartzitic and ferruginous rocky outcrop areas in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais). The floristic composition and phytosociological structure of two areas with quartzitic and ferruginous *campos rupestres* in the Quadrilátero Ferrífero region of Minas Gerais State were studied. The aim of this research was to determine if geology and geomorphology influence the vegetation of these communities. The *campos rupestres* in both lithologies were stratified in three kinds of geomorphologic habitats: 1.Grasslands on slopes; 2.Grasslands on the plateaus and 3.Woody savannas in the lower parts of the slopes. In each habitat, 10 plots (10x10m) were randomly defined, totaling 60 plots. Frequency, dominance and importance value (IV) parameters were calculated for each species. Shannon-Wiener (H') and Pielou (J') indexes were estimated for each habitat. Jaccard index and clustering analysis were used to assess the similarity of the different habitats. There were found 165 species in the quartzitic and 160 in the ferruginous grasslands. *Vellozia compacta* was the species with the highest IV in both ferruginous grasslands. *Lagenocarpus rigidus* was the species with the highest IV in quartzitic sloped areas, followed by some phanerophytes. *Echinolaena inflexa* was the species with the highest IV in quartzitic plateaus followed by some phanerophytes and many hemicryptophytic species. The woody savannas in ferruginous areas were dominated by *E. erythropappus* and *V. compacta*, while in quartzitic areas by *Echinolaena inflexa*, *Eremanthus erythropappus* and many phanerophytic species. Woody savannas were more diverse than grasslands. Ferruginous *campos rupestres* exhibited lower diversity ($H'=2.92$) and equitability ($J'=0.58$) than quartzitic ones ($H'=3.36$; $J'=0.66$). Cluster analysis produced groups corresponding to the lithological and geomorphological habitats. The results give evidence that geology and geomorphology influence the floristic composition of *campos rupestres*.

Key words: Espinhaço Range, ferruginous rocky outcrops, laterite, *Quadrilátero Ferrífero* quartzitic rocky outcrops.

Introdução

Os campos rupestres são formações herbáceo-arbustivas em áreas com afloramentos rochosos ou solos rasos, normalmente acima de 900m, ocorrentes ao longo da Cadeia do Espinhaço e em algumas disjunções (Eiten 1983). Apesar de serem reconhecidos como uma unidade florística, os campos rupestres apresentam notável heterogeneidade de habitats, determinados por fatores edafoclimáticos como: natureza do substrato, topografia, profundidade do solo e microclima. (Conceição & Giulietti 2002; Conceição & Pirani 2007; Giulietti *et al.* 1997; Giulietti & Pirani 1988; Jacobi *et al.* 2007). Estes autores também relatam diferenças na estrutura da vegetação de campos rupestres dependentemente de aspectos geomorfológicos. Segundo Conceição & Pirani (2005), nos topos com afloramentos rochosos de quartzito predominam espécies camefíticas de Velloziaceae

tolerantes a dessecação, enquanto que em áreas com solos contínuos, correspondentes aos patamares, dominam as hemicriptófitas. Este mesmo padrão também foi observado por Messias *et al.* (2011) e Lemes (2009).

No Quadrilátero Ferrífero (QF), em Minas Gerais, são comuns as formações de campos rupestres ferruginosos sobre itabirito entremeados aos campos rupestres quartzíticos. Nessa região, estes dois tipos litológicos ocorrem em altitudes superiores, normalmente acima de 1000m, uma vez que são as rochas presentes mais resistentes aos processos erosivos (Varajão 1991). Alguns autores, entretanto, discordam da denominação de campos rupestres ocorrentes em outros tipos litológicos além dos quartzitos e arenitos, embora muito pouco se conheça da similaridade florística entre os campos sobre estas litologias. Vincent (2004) comparou alguns fragmentos de campos rupestres quartzíticos e ferruginosos na porção oeste do Quadrilátero Ferrífero, porém restritos a alguns tipos de habitat. Mourão & Stehmann (2007) compararam um campo ferruginoso a nordeste do QF com alguns campos quartzíticos e ferruginosos do QF, Cadeia do Espinhaço e da Serra de Carajás. Esses autores encontraram baixa similaridade tanto entre as áreas com a mesma litologia, assim como em litologias distintas. Pouco também se sabe sobre a similaridade florística entre os diversos fragmentos de campos rupestres, ainda que sobre o mesmo litotipo. Os trabalhos existentes relatam baixa similaridade entre as áreas, justificada principalmente pela presença de barreiras geográficas existentes entre os topos das montanhas aonde estas áreas se localizam, assim como pelo clima, pela matriz vegetacional circundante, dentre outros fatores (Alves & Kolbek 2009; Conceição & Pirani 2005, 2007; Jacobi *et al.* 2007; Mourão & Stehmann 2007; Vincent 2004). Devido a este fato, os campos rupestres são referidos como possuindo alta diversidade beta (Jacobi *et al.* 2007), aonde estudos de áreas distintas fornecem informações importantes para compreensão dos padrões de diversidade (Whittaker *et al.* 2001).

Existem, atualmente, no QF cerca de 50 minas em atividade, responsáveis por aproximadamente 70% da produção nacional de minério de ferro (DNPM 2010). A mineração é uma das atividades de maior impacto ao ambiente, provocando alterações físicas e químicas drásticas no substrato e, conseqüentemente, à biota (Griffith & Toy 2001; Jacobi & Carmo 2008). Apesar da alta biodiversidade e de estarem sujeitos a alto impacto ambiental, comparativamente, os campos rupestres do QF ainda são pouco estudados e protegidos (Jacobi *et al.* 2007). De acordo com Lima *et al.* (2006) uma das causas do insucesso de programas de reabilitação de áreas degradadas por mineração é justamente a falta de conhecimento desses ecossistemas.

Muito embora nos anos recentes tenham sido publicados vários trabalhos sobre a flora de campos rupestres, pouco ainda são os estudos quantitativos com relação à mesma (Conceição & Pirani 2007). Para compreensão dos serviços ecológicos dessas comunidades, assim como para proposição de projetos adequados de recuperação de áreas degradadas, a fitossociologia destaca-se como ferramenta indispensável, inferindo sobre quais as espécies estão presentes, em que proporção, como se

distribuem e se associam. Considerando-se a necessidade de incrementar o conhecimento de dados quantitativos a respeito da estrutura fitossociológica dos campos rupestres, este trabalho teve como objetivo caracterizar e comparar a composição florística e a estrutura horizontal de campos rupestres sobre quartzito e itabirito em diferentes habitats. E ainda, verificar se os tipos litológicos e as geoformas influenciam na distinção de comunidades vegetais em campos rupestres, numa escala local.

Material e métodos

Área de estudo

Os campos sobre itabirito e sobre quartzito localizam-se, respectivamente, nos municípios de Ouro Preto (20°10'S e 43°31'W) e Mariana (20°13'S e 43°24'W), no Quadrilátero Ferrífero, Estado de Minas Gerais. Os dois locais distam entre si de aproximadamente 12 km em linha reta. A altitude variou de 900 a 1250m. Estas áreas fazem parte da Serra de Ouro Preto e pertencem à Samarco Mineração S.A. As rochas ferruginosas pertencem à Formação Cauê, do grupo Itabira, Supergrupo Minas, enquanto que os quartzitos pertencem ao Grupo Maquiné, do Supergrupo Rio das Velhas (Dorr 1969). O clima, de acordo com a classificação de Köppen é Cwb, i.e. mesotérmico, com a estação chuvosa de novembro a março e invernos secos (Nimer 1989). A precipitação média anual é de 1250 mm e a temperatura média é de 20°C. Os solos dos campos estudados foram classificados como Neossolos litólicos (EMBRAPA 1999).

Os campos rupestres, em ambas as litologias, foram estratificados pelas geoformas em: 1. Áreas inclinadas com afloramentos rochosos, nos topos das elevações, com campos limpos; 2. Patamares, na porção mediana das encostas, com inclinação não ultrapassando a 10%, com campos limpos e 3. Vales ou depressões localizadas nas porções mais baixas ou côncavas dos perfis, com campos sujos. Ou seja, seis habitats foram estudados, determinados pelas diferenças de litotipo e de geoformas. Em cada litologia, foram estabelecidas 30 parcelas (10 x 10m), sendo 10 em cada habitat. Os campos rupestres em áreas inclinadas, com afloramentos rochosos de itabirito (IAF), possuem grande proporção de rochas aflorantes, exibindo o bandamento típico do itabirito. O solo é muito raso e pedregoso. O substrato dos campos rupestres, nos patamares sobre itabirito (IPL) é constituído por afloramentos de concreções ferruginosas, oriundas da laterização do itabirito, conhecidas como cangas couraçadas. Os campos rupestres (campos sujos) sobre itabirito (ICS) também apresentam cangas, parcialmente cobertas por solo coluvial. Os campos rupestres inclinados com afloramentos rochosos de quartzito (QAF) exibem uma grande proporção de rochas aflorantes, com o solo raso, ocupando espaços entre os blocos de rochas ou formando pequenas ilhas de solo nas depressões. Os campos rupestres sobre os patamares nas áreas sobre quartzito (QPL) exibem solo arenoso e raso, não ultrapassando 40 cm de profundidade, continuo e com raros afloramentos rochosos. Os solos nesse habitat mostraram drenagem deficiente durante a estação chuvosa. Os campos rupestres (campos

sujos) sobre quartzito (QCS) apresentam solo arenoso coluvial mais profundo que nos outros habitats, com ocasionais afloramentos rochosos.

Estudos florísticos

O levantamento florístico foi realizado de setembro de 2007 a fevereiro de 2009, em excursões semanais ao campo. Foram inventariadas todas as espécies ocorrentes e estimado visualmente o respectivo percentual de cobertura como uma medida de dominância, pela projeção vertical das partes aéreas de cada espécie em relação à área da parcela (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974; Westhoff & Maarel 1978). A estimativa visual das áreas de cobertura das espécies foi realizada similarmente ao método de Braun-Blanquet (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974). No entanto, os valores estimados foram tomados como variável contínua, ao invés serem categorizados pela escala de cobertura e abundância de Braun-Blanquet. As espécies foram classificadas quanto as suas formas de vida de acordo com Raunkiaer (1934). Todas as espécies foram coletadas, herborizadas, identificadas, classificadas de acordo com o APG (2009) e depositadas no Herbário Professor Jose Badini (OUPR), da Universidade Federal de Ouro Preto. A lista das espécies e suas respectivas formas de vida e coberturas nos diferentes habitats encontra-se em Messias *et al.* (2011).

Foram calculadas a frequência absoluta (FA), frequência relativa (FR), dominância absoluta (DoA), dominância relativa (DoR) e valor de importância (VI) para cada espécie, onde os parâmetros de dominância foram calculados a partir dos valores de cobertura. Foram ainda calculados, para cada habitat, a diversidade de espécies pelo índice de Shannon-Wiener (H') e equabilidade de Pielou (J') (Magurran 2004).

Para interpretar a similaridade florística entre as parcelas utilizou-se a análise de agrupamentos de médias não ponderadas (UPGMA), usando-se o índice de similaridade de Jaccard (ISj) como medida de distância (Jongman *et al.* 1995). A partir dessa análise, foi elaborado um dendrograma, observando-se as hierarquias entre os grupos formados. Para essa análise foi utilizado o programa PAST (Hammer *et al.* 2001). A análise de adequação dos agrupamentos foi feita pela estimativa do coeficiente de correlação cofenético (Valentin 2000). Para efeito de comparação, calcularam-se também os valores de similaridade de Jaccard (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974) entre os habitats analisados, assim como entre os campos ferruginosos e quartzíticos estudados e outros levantamentos florísticos de campos rupestres do Quadrilátero Ferrífero (Andrade *et al.* 1986, Brandão & Gavilanes 1990; Brandão *et al.* 1991, Brandão & Silva Filho 1993; Ferreira *et al.* 1977; Jacobi *et al.* 2007; Lemes 2009; Magalhães *et al.* 1986; Mourão & Stehmann 2007; Peron 1989; Roschel 2000; Viana & Lombardi 2007; Vincent 2004).

Resultados

Dentre as 64 famílias identificadas nas duas áreas, Poaceae (28), Asteraceae (26) e Melastomataceae (19) foram aquelas com o maior número de espécies (Fig. 1) (*Figura 4.1*). Nos

campos rupestres ferruginosos foram encontradas 160 espécies (87 em IAF, 104 em IPL e 128 em ICS) e 165 nos campos rupestres sobre quartzito (85 em QAF, 101 em QPL e 130 em QCS), totalizando 263 espécies (Tab. 1) (Tabela 4.1). Analisando o conjunto dos campos rupestres estudados, as famílias com maior VI foram Asteraceae, Poaceae, Velloziaceae, Melastomataceae, Cyperaceae, Myrtaceae, Fabaceae, Orchidaceae, Verbenaceae e Malpighiaceae. As espécies com o maior VI foram *Vellozia compacta*, *Lagenocarpus rigidus*, *Eremanthus erythropappus*, *Echinolaena inflexa*, *Eremanthus crotonoides*, *Apochloa poliophylla*, *Clidemia urceolata*, *Tibouchina heteromalla*, *Lychnophora pinaster*, *Eremanthus incanus*, *Coccoloba acrostichoides*, *Axonopus laxiflorus*, *Baccharis reticularia*, *Periandra mediterranea*, *Stachytarpheta glabra*, *Leandra australis*, *Tapirira guianensis*, *Schizachyrium tenerum* e *Byrsonima variabilis* (Tab. 2 e 3) (Tabelas 4.2 e 4.3).

Nos campos rupestres sobre itabirito, as espécies com maior valor de importância foram, em ordem decrescente, *Vellozia compacta*, *Lagenocarpus rigidus*, *Apochloa poliophylla*, *Lychnophora pinaster*, *Eremanthus erythropappus*, *Tibouchina heteromalla*, *Coccoloba acrostichoides*, *Baccharis reticularia*, *Periandra mediterranea* e *Myrcia pulchra* (Tab. 2) (Tabela 4.2). *Vellozia compacta* foi a espécie com maior VI, tanto nos campos com afloramentos de itabirito como nos de canga. Os campos declivosos com afloramentos de itabirito foram dominados por *V. compacta* e *L. rigidus* (que representam mais de 35% do VI), ao passo que nos campos com afloramentos de canga observou-se uma maior equabilidade, sendo dominados por *V. compacta* e *L. pinaster* e sequencialmente por uma variada flora de espécies fanerófitas (*Coccoloba acrostichoides*, *Tibouchina heteromalla*, *Myrcia pulchra* e *Croton erythroxyloides*) e hemicriptófitas (*Apochloa poliophylla*, *Lagenocarpus rigidus* e *Axonopus siccus*). Nos campos sujos sobre itabirito, a espécie com maior VI foi a candeia (*Eremanthus erythropappus*), seguida por *Vellozia compacta*.

As espécies com maiores VI nos habitats sobre quartzito foram, em ordem decrescente, *Echinolaena inflexa*, *Eremanthus crotonoides*, *Clidemia urceolata*, *Eremanthus erythropappus*, *Lagenocarpus rigidus*, *Axonopus laxiflorus*, *Tapirira guianensis*, *Eremanthus incanus*, *Vellozia compacta* e *Apochloa poliophylla* (Tab. 3) (Tabela 4.3). Nos campos rupestres inclinados com afloramentos de quartzito (QAF), as espécies com maior VI foram *Lagenocarpus rigidus*, *Eremanthus crotonoides*, *E. incanus*, *Clidemia urceolata* e *Vellozia compacta*. Nos patamares sobre quartzito, a espécie com maior VI foi *Echinolaena inflexa*, seguida de algumas fanerófitas (*Clidemia urceolata*, *Eremanthus crotonoides*, *Baccharis platypoda* e *Tapirira guianensis*) e muitas hemicriptófitas pertencentes principalmente a Poaceae, Cyperaceae, Eriocaulaceae e Xyridaceae. Nos campos sujos sobre quartzito, *Echinolaena inflexa* também foi a espécie de maior VI, seguida por várias fanerófitas (*Eremanthus erythropappus*, *E. crotonoides*, *Clidemia urceolata*, *Tapirira guianensis*, *Myrcia amazonica*, *Pera glabrata*, *Calea clematidea*, *Tibouchina heteromalla*, *Myrcia multiflora* e *Baccharis reticularia*) e ainda diversas hemicriptófitas principalmente das famílias Poaceae, Cyperaceae e Orchidaceae.

As espécies mais frequentes foram: *Periandra mediterranea*, *Baccharis reticularia*, *Tibouchina heteromalla*, *Apochloa poliophylla*, *Vellozia compacta*, *Eremanthus crotonoides*, *Stachytarpheta glabra* e *Lagenocarpus rigidus*, ocorrendo em mais de 60% das parcelas (Tab. 2 e 3) (Tabelas 4.2 e 4.3). No entanto, 64 espécies ocorreram em apenas uma parcela. Muitas espécies foram restritas a determinados tipos de habitat ou ocorreram em apenas uma das litologias (Fig. 2) (Figura 4.2).

Analisando em conjunto todas as comunidades de campos rupestres, o índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') foi estimado em 3,45nats/ind e a equabilidade de Pielou (J') em 0,62. O índice de diversidade de Shannon-Wiener nos campos rupestres sobre itabirito foi de 2,92 nats/ind enquanto que nos quartzitos $H' = 3,36$ nats/ind (Tab. 1) (Tabela 4.1).

Das 263 espécies relatadas, 62 foram comuns aos campos rupestres sobre itabirito e quartzito resultando em 24% de similaridade florística pelo índice de Jaccard (Fig. 2) (Figura 4.2). Os campos com afloramentos de itabirito foram bastante similares àqueles sobre cangas couraçadas ($ISj = 0,58$). Nos quartzitos, as comunidades mais semelhantes foram os patamares com campos limpos e os campos sujos ($ISj=0,52$). Em ambos os litotipos os habitats mais dissimilares foram os topos com afloramentos rochosos e os campos sujos (Fig. 2 e 3) (Figura 4.2 e 4.3).

O dendrograma de similaridade (Fig. 3) (Figura 4.3) evidenciou a formação de dois grupos principais constituídos pelas duas litologias. Nos campos sobre quartzito, observou-se a consistência do agrupamento das parcelas de acordo com as geoformas, formando primeiramente dois subgrupos: o primeiro com as parcelas dos habitats sobre campos rupestres inclinados com afloramentos rochosos (QAF) e um segundo que se subdivide nos campos rupestres nos patamares (QPL) e nos campos sujos localizados nos vales ou depressões (QCS). O campo quartzítico inclinado com afloramentos rochosos (QAF) foi o habitat mais dissimilar dentre aqueles dos quartzitos. Nos campos sobre itabirito foram observados dois grupos, sendo que o primeiro agrupa principalmente as parcelas dos campos rupestres com afloramentos de itabirito (IAF) e aquelas dos patamares com canga couraçada (IPL). O segundo grupo é formado principalmente pelas parcelas dos campos sujos (ICS). Todas as comunidades se agruparam com baixa similaridade pelo Índice de Jaccard, sendo QPL a menos dissimilar (Fig. 3) (Figura 4.3). O coeficiente de correlação cofenético ($r = 0,88$) indicou a adequação do dendrograma de similaridade.

Tabela 4.1. Número de espécies (S), Índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') e Equabilidade de Pielou (J') em campos rupestres sobre itabirito e quartzito.

HABITAT / LITOLOGIA	S	H'	J'
IAF	87	2,26	0,51
IPL	104	2,71	0,58
ICS	128	3,27	0,67
QAF	85	2,94	0,66
QPL	101	2,83	0,61
QCS	130	3,19	0,65
ITABIRITO	160	2,92	0,58
QUARTZITO	165	3,36	0,66
TOTAL	263	3,45	0,62

IAF = Campos rupestres em áreas inclinadas, com afloramentos rochosos de itabirito, nos topos das elevações; IPL = Campos rupestres nos patamares, com afloramentos de canga couraçada, na porção mediana das encostas; ICS = Campos rupestres (campos sujos) sobre canga, em vales ou depressões localizadas nas porções mais baixas ou côncavas dos perfis; QAF = Campos rupestres em áreas inclinadas com afloramentos rochosos de quartzito, nos topos das elevações; QPL = Campos rupestres nos patamares sobre quartzito, na porção mediana das encostas; QCS = Campos rupestres (campos sujos) sobre quartzito, em vales ou depressões localizadas nas porções mais baixas ou côncavas dos perfis.

Tabela 4.2. Parâmetros fitossociológicos das espécies com maior valor de importância ($\Sigma VI = 50$) nos diferentes habitats de campos rupestres sobre itabirito, em Ouro Preto, Minas Gerais. (20°10'S e 43°31'W). IAF = Campos rupestres em áreas inclinadas, com afloramentos rochosos de itabirito, nos topos das elevações; IPL = Campos rupestres nos patamares, com afloramentos de canga couraçada, na porção mediana das encostas; ICS = Campos rupestres (campos sujos) sobre canga, em vales ou depressões localizadas nas porções mais baixas ou côncavas dos perfis; FA = frequência absoluta; FR = frequência relativa; DoA = dominância absoluta; DoR = dominância relativa; VI = índice de valor de importância.

Espécies	FA	FR	DoA	DoR	VI
	%	%	%	%	%
IAF					
<i>Vellozia compacta</i> Mart. ex Schult. & Schult.f.	100	3,1	46,0	43,5	23,3
<i>Lagenocarpus rigidus</i> Ness	100	3,1	22,0	20,8	12,0
<i>Apochloa poliophylla</i> (Renvoize & Zuloaga) Zuloaga & Morrone	60	1,9	5,7	5,4	3,6
<i>Tibouchina heteromalla</i> (D.Don) Cogn.	100	3,1	4,3	4,0	3,6
<i>Baccharis reticularia</i> DC.	90	2,8	2,1	2,0	2,4
<i>Eremanthus incanus</i> (Less.) Less.	70	2,2	2,5	2,4	2,3
<i>Periandra mediterranea</i> (Vell.) Taub.	90	2,8	1,5	1,4	2,1
<i>Diplusodon microphyllus</i> Pohl	100	3,1	0,4	0,4	1,8
IPL					
<i>Vellozia compacta</i> Mart. ex Schult. & Schult.f.	100	3,0	19,0	28,6	15,8
<i>Lychnophora pinaster</i> Mart.	80	2,4	12,3	18,5	10,5
<i>Apochloa poliophylla</i> (Renvoize & Zuloaga) Zuloaga & Morrone	100	3,0	5,7	8,5	5,8
<i>Coccoloba acrostichoides</i> Cham.	70	2,1	4,8	7,2	4,6
<i>Lagenocarpus rigidus</i> Ness	60	1,8	4,5	6,7	4,3
<i>Tibouchina heteromalla</i> (D.Don) Cogn.	100	3,0	2,2	3,3	3,1
<i>Myrcia pulchra</i> (O.Berg) Kiaersk.	70	2,1	1,5	2,3	2,2
<i>Croton erythroxyloides</i> Baill.	90	2,7	1,0	1,5	2,1
<i>Axonopus siccus</i> (Nees) Kuhlm.	40	1,2	1,6	2,5	1,8
ICS					
<i>Eremanthus erythropapus</i> (DC.) MacLeish	80	1,9	11,8	19,2	10,6
<i>Vellozia compacta</i> Mart. ex Schult. & Schult.f.	80	1,9	9,3	15,1	8,5
<i>Coccoloba acrostichoides</i> Cham.	90	2,2	3,2	5,2	3,7
<i>Apochloa poliophylla</i> (Renvoize & Zuloaga) Zuloaga & Morrone	90	2,2	3,0	4,9	3,5
<i>Lagenocarpus rigidus</i> Ness	70	1,7	3,2	5,1	3,4
<i>Trembleya laniflora</i> (D.Don) Cogn.	50	1,2	2,7	4,4	2,8
<i>Eremanthus crotonoides</i> (DC.) Sch.Bip.	50	1,2	2,5	4,1	2,6
<i>Eremanthus incanus</i> (Less.) Less.	40	1,0	2,5	4,1	2,5
<i>Leandra australis</i> (Cham.) Cogn.	100	2,4	1,5	2,4	2,4
<i>Tibouchina heteromalla</i> (D.Don) Cogn.	90	2,2	1,6	2,6	2,4
<i>Myrcia pulchra</i> (O.Berg) Kiaersk.	70	1,7	1,9	3,0	2,3
<i>Byrsonima variabilis</i> A.Juss.	80	1,9	1,7	2,7	2,3
<i>Myrcia venulosa</i> DC.	50	1,2	1,6	2,5	1,9
<i>Periandra mediterranea</i> (Vell.) Taub.	100	2,4	0,6	1,0	1,7

Tabela 4.3. Parâmetros fitossociológicos das espécies com maior valor de importância ($\Sigma VI = 50$) nos diferentes habitats de campos rupestres sobre quartzito, em Mariana, Minas Gerais. (20°13'S e 43°24'W). QAF = Campos rupestres em áreas inclinadas com afloramentos rochosos de quartzito, nos topos das elevações; QPL = Campos rupestres nos patamares sobre quartzito, na porção mediana das encostas; QCS = Campos rupestres (campos sujos) sobre quartzito, em vales ou depressões localizadas nas porções mais baixas ou côncavas dos perfis; FA = frequência absoluta; FR = frequência relativa; DoA = dominância absoluta; DoR = dominância relativa; VI = índice de valor de importância.

Espécies	FA	FR	DoA	DoR	VI
	%	%	%	%	%
QAF					
<i>Lagenocarpus rigidus</i> Ness	80	2,7	7,8	17,0	9,8
<i>Eremanthus crotonoides</i> (DC.) Sch.Bip.	90	3,0	5,7	12,5	7,7
<i>Eremanthus incanus</i> (Less.) Less.	90	3,0	5,6	12,2	7,6
<i>Clidemia urceolata</i> DC.	80	2,7	3,9	8,4	5,5
<i>Vellozia compacta</i> Mart. ex Schult. & Schult.f.	80	2,7	3,7	8,0	5,3
<i>Echinolaena inflexa</i> (Poir.) Chase	80	2,7	2,4	5,3	4,0
<i>Eremanthus erythropapus</i> (DC.) MacLeish	40	1,3	2,8	6,1	3,7
<i>Apochloa poliophylla</i> (Renvoize & Zuloaga) Zuloaga & Morrone	30	1,0	1,9	4,2	2,6
<i>Stachytarpheta glabra</i> Cham.	80	2,7	1,0	2,1	2,4
<i>Periandra mediterranea</i> (Vell.) Taub.	90	3,0	0,8	1,7	2,3
QPL					
<i>Echinolaena inflexa</i> (Poir.) Chase	100	2,7	11,9	29,5	16,1
<i>Clidemia urceolata</i> DC.	100	2,7	6,1	15,0	8,9
<i>Eremanthus crotonoides</i> (DC.) Sch.Bip.	100	2,7	5,6	13,9	8,3
<i>Baccharis platypoda</i> DC.	90	2,4	1,8	4,4	3,4
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	70	1,9	1,4	3,5	2,7
<i>Paepalanthus planifolius</i> (Bong.) Körn.	100	2,7	0,9	2,2	2,5
<i>Eremanthus erythropapus</i> (DC.) MacLeish	50	1,4	1,2	2,9	2,1
<i>Lagenocarpus rigidus</i> Ness	40	1,1	1,1	2,7	1,9
<i>Paepalanthus vaginatus</i> Körn.	90	2,4	0,4	1,0	1,7
<i>Microlicia graveolens</i> DC.	100	2,7	0,3	0,7	1,7
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana	90	2,4	0,4	0,9	1,7
QCS					
<i>Echinolaena inflexa</i> (Poir.) Chase	90	2,1	9,1	15,1	8,6
<i>Eremanthus erythropapus</i> (DC.) MacLeish	100	2,3	8,3	13,7	8,0
<i>Axonopus laxiflorus</i> (Trin.) Chase	60	1,4	6,5	10,8	6,1
<i>Eremanthus crotonoides</i> (DC.) Sch.Bip.	100	2,3	5,7	9,5	5,9
<i>Clidemia urceolata</i> DC.	100	2,3	4,4	7,2	4,7
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	90	2,1	3,8	6,3	4,2
<i>Myrcia amazonica</i> DC.	70	1,6	2,0	3,2	2,4
<i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp. ex Baill.	80	1,8	1,8	2,9	2,4
<i>Calea clematidea</i> Baker	100	2,3	1,3	2,1	2,2
<i>Tibouchina heteromalla</i> (D.Don) Cogn.	60	1,4	1,6	2,7	2,0
<i>Apochloa poliophylla</i> (Renvoize & Zuloaga) Zuloaga & Morrone	80	1,8	0,9	1,6	1,7
<i>Myrcia multiflora</i> (Lam.) DC.	60	1,4	1,1	1,8	1,6
<i>Baccharis reticularia</i> DC.	80	1,8	0,8	1,3	1,6

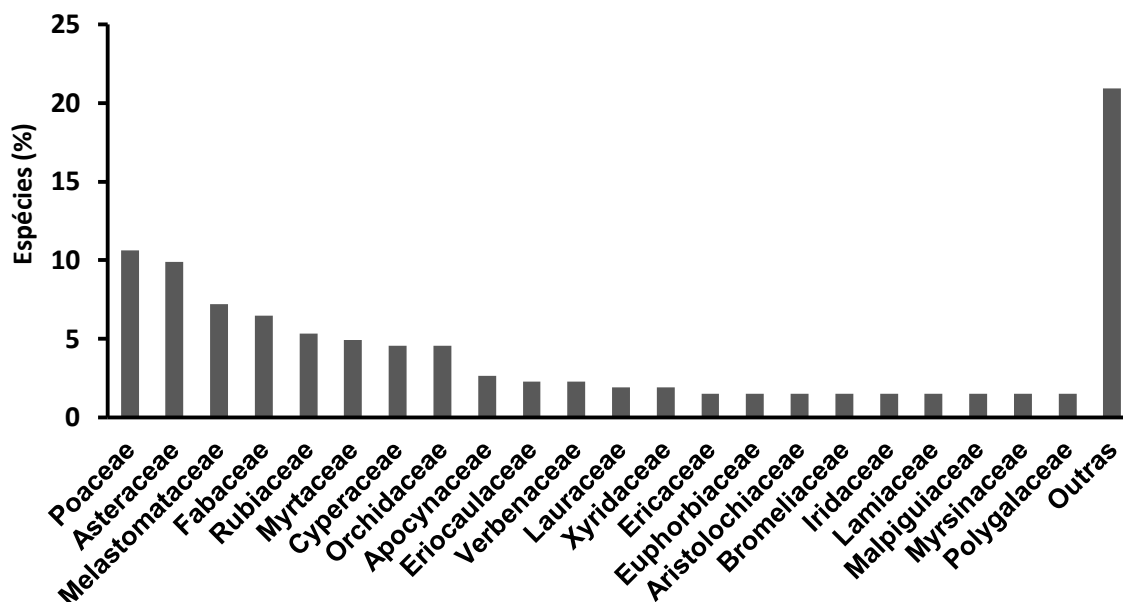


Figura 4.1. Famílias com maior riqueza (% espécies) nas duas áreas amostrais de campos rupestres sobre itabirito e quartzito, em Ouro Preto e Mariana, respectivamente.

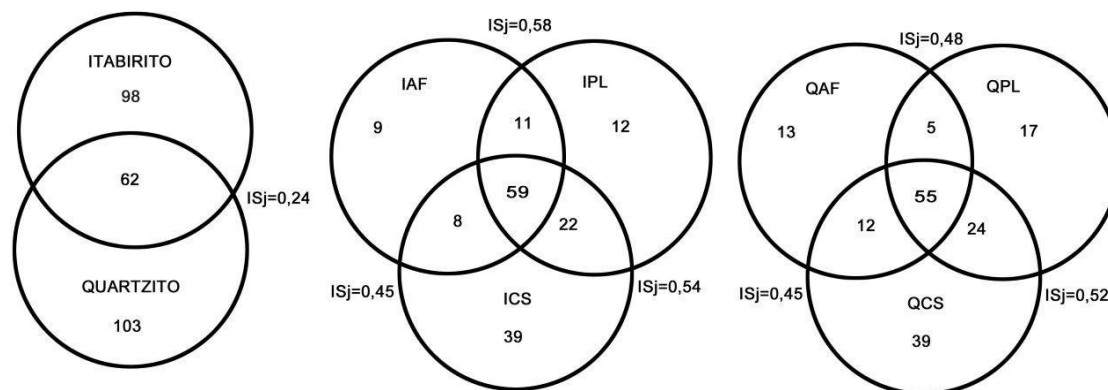


Figura 4.2. Diagramas de Venn indicando o número de espécies exclusivas e comuns e respectivas similaridades florísticas entre habitats de campos rupestres estudados em Ouro Preto e Mariana MG. ISj = Índice de similaridade de Jaccard; IAF = Campos rupestres em áreas inclinadas, com afloramentos rochosos de itabirito, nos topos das elevações; IPL = Campos rupestres nos patamares, com afloramentos de canga couraçada, na porção mediana das encostas; ICS = Campos rupestres (campos sujos) sobre canga, em vales ou depressões localizadas nas porções mais baixas ou côncavas dos perfis; QAF = Campos rupestres em áreas inclinadas com afloramentos rochosos de quartzito, nos topos das elevações; QPL = Campos rupestres nos patamares sobre quartzito, na porção mediana das encostas; QCS = Campos rupestres (campos sujos) sobre quartzito, em vales ou depressões localizadas nas porções mais baixas ou côncavas dos perfis.

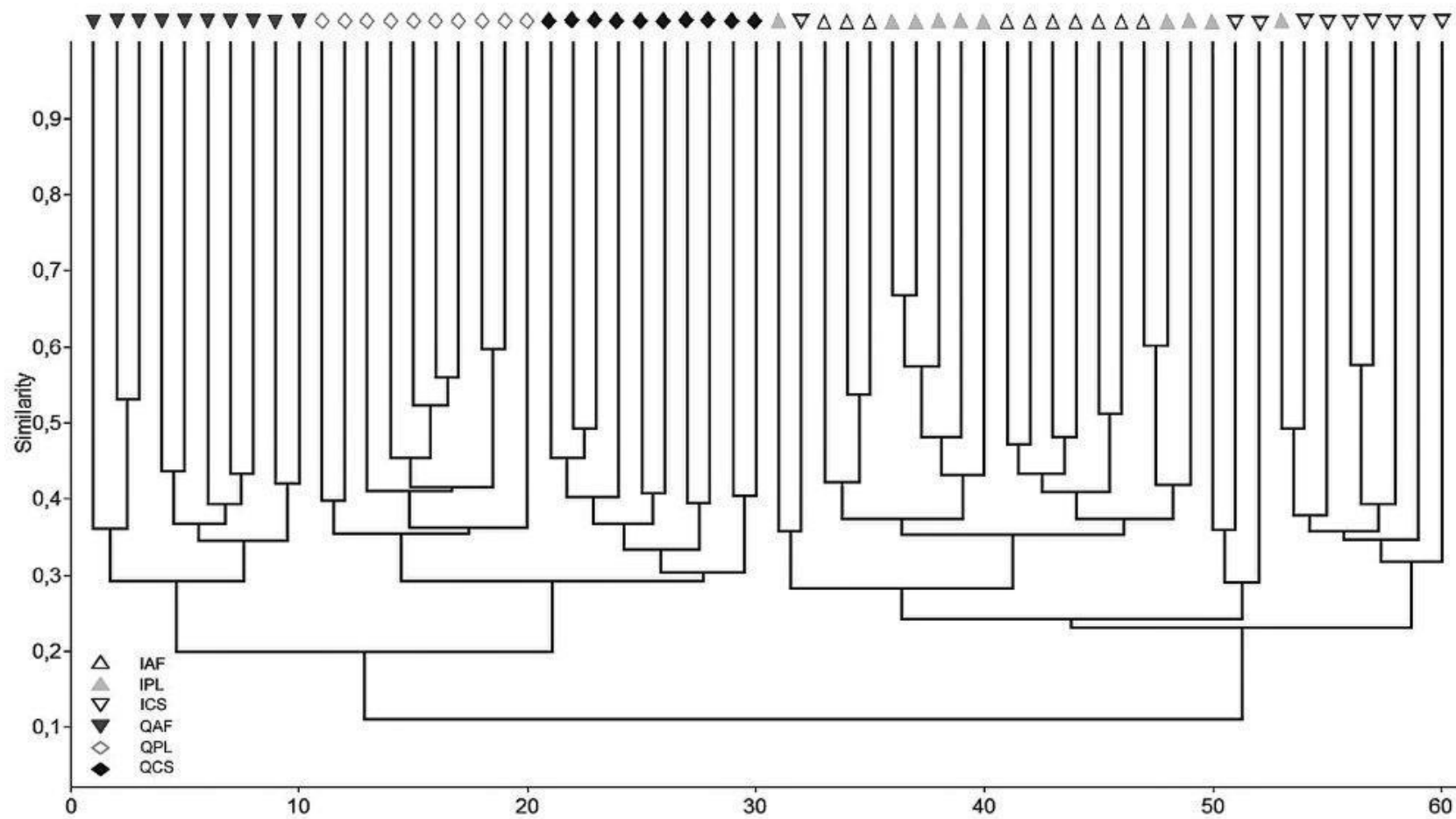


Figura 4.3. Dendrograma de similaridade entre as parcelas, utilizando análise de agrupamentos por médias não ponderadas (UPGMA) e o índice de Jaccard como distância. IAF = Campos rupestres em áreas inclinadas, com afloramentos rochosos de itabirito, nos topos das elevações; IPL = Campos rupestres nos patamares, com afloramentos de canga couraçada, na porção mediana das encostas; ICS = Campos rupestres (campos sujos) sobre canga, em vales ou depressões localizadas nas porções mais baixas ou côncavas dos perfis; QAF = Campos rupestres em áreas inclinadas com afloramentos rochosos de quartzito, nos topos das elevações; QPL = Campos rupestres nos patamares sobre quartzito, na porção mediana das encostas; QCS = Campos rupestres (campos sujos) sobre quartzito, em vales ou depressões localizadas nas porções mais baixas ou côncavas dos perfis.

Discussão

As famílias mais abundantes nos campos rupestres estudados são similares àquelas encontradas em outros levantamentos florísticos de campos rupestres no Quadrilátero Ferrífero (Andrade *et al.* 1986, Brandão & Gavilanes 1990, Brandão *et al.* 1991, Mourão & Stehmann 2007, Viana & Lombardi 2007, Lemes 2009), assim como em outras áreas ao longo da Cadeia do Espinhaço (Alves & Kolbek 2009, Conceição & Giuliatti 2002 e Conceição & Pirani 2007). Giuliatti *et al.* (1997) descreveram estas famílias como características da Serra do Espinhaço, porém sujeitas a variações em suas riquezas, dependentemente das condições fisiográficas. Em campos ferruginosos a oeste do QF, Jacobi *et al.* (2007) e Viana & Lombardi (2007) encontraram maior riqueza de Solanaceae, enquanto que Vincent (2004) relatou maior riqueza de Loranthaceae e Amaranthaceae do que no presente estudo.

Dentre as espécies com maior VI nos campos rupestres sobre itabirito, *Lagenocarpus rigidus*, *Tibouchina heteromalla*, *Lychnophora pinaster*, *Stachytarpheta glabra*, *Hoffmannseggella caulescens* e *Vellozia compacta* foram também citadas como tais na Serra do Rola Moça (Jacobi *et al.* 2008). Vincent (2004) também relata *Hoffmannseggella caulescens* (citada como *Laelia caulescens*), *Lychnophora pinaster* (citada como *L. ericoides*) e *Tibouchina heteromalla* (citada como *T. multiflora*) dentre as espécies com maior VI em canga couraçada na Serra do Rola Moça. Jacobi *et al.* (2007), também relataram *Lychnophora pinaster*, *Baccharis reticularia*, *Tibouchina heteromalla* (citada como *T. multiflora*), *Lagenocarpus rigidus* e *Hoffmannseggella caulescens* (citada como *Sophronitis caulescens*) como mais comuns em campos ferruginosos e Mourão & Stehmann (2007) também citaram *Lychnophora pinaster*, *Periandra mediterranea* e *T. heteromalla* (citada como *T. multiflora*) como espécies mais importantes em campos rupestres ferruginosos em Barão de Cocais. Lemes (2009) também relatou *T. heteromalla*, *V. compacta* e *Baccharis platypoda* como espécies com maior VI nos afloramentos rochosos de quartzito no Parque Estadual do Itacolomi, assim como *V. compacta*, *Eremanthus erythropappus*, *E. incanus* e *Echinolaena inflexa* como de alto VI em áreas semelhantes na Serra de Ouro Branco.

Os habitats com maior proporção de afloramentos rochosos mostraram maior riqueza e abundância de espécies epilíticas vasculares formadoras ou não de “tapetes”, descritas por Porembski (2007) para os “inselbergs” tropicais, pertencentes principalmente a Velloziaceae, Bromeliaceae, Cyperaceae e Orchidaceae. Estudos florísticos em campos rupestres têm evidenciado a importância da família Velloziaceae nos afloramentos rochosos (Conceição & Giuliatti 2002; Conceição & Pirani 2005; 2007). Velloziaceae é considerada como possuindo várias espécies tolerantes a dessecação (Aidar *et al.* 2010; Gaff 1987; Meguro *et al.* 1977; Meirelles *et al.* 1997), adaptadas a solos com alto teor de metais (Antonovics *et al.* 1971; Brooks 1998) e como a família com maior número de taxons especialistas em inselbergs (Barthlott & Porembski 2000). Isto justifica a maior importância encontrada para *V. compacta* nas áreas de

campos rupestres sobre itabirito, especialmente em IAF, aonde a proporção de rochas aflorantes e o teor de metais são comparativamente maiores do que nos quartzitos. Nos campos rupestres inclinados com afloramentos rochosos de quartzito (QAF), a dominância de *V. compacta* foi conspícua. De acordo com Alves & Kolbek (2010), solos instáveis e arenosos, como os encontrados nos patamares sobre quartzito, não são propícios ao desenvolvimento de espécies arbustivas perenes de *Vellozia*.

Os patamares sobre quartzito e itabirito são os habitats que mais divergiram entre si quanto ao tipo de solo. Nos itabiritos o solo é mais escasso, onde o substrato é constituído, em grande proporção, de couraça laterítica exposta. Nos patamares sobre quartzito observou-se o solo arenoso e raso, porém contínuo, aonde raramente ocorrem afloramentos rochosos. Devido a este fato, as espécies rupícolas e saxícolas praticamente inexistem nos QPL. Além do mais, durante a época chuvosa, os solos em QPL exibem encharcamento temporário. Nos patamares sobre quartzito, observa-se uma grande heterogeneidade da composição florística entre os diversos levantamentos (Lemes 2009; Conceição & Giulietti 2002; Conceição *et al.* 2007; Conceição & Pirani 2005), no entanto, nota-se a predominância de formas de vida hemicriptófitas, principalmente das famílias Poaceae, Cyperaceae, Eriocaulaceae e Orchidaceae (Conceição & Giulietti 2002; Lemes 2009; Messias *et al.* 2011; Rapini *et al.* 2008). As hemicriptófitas são quase que exclusivamente Liliopsida, com raízes fasciculadas e explorando a parte mais superficial do solo. Dutra (2005) observou maior umidade na camada mais superficial do solo de campos rupestres quartzíticos, sendo a umidade correlacionada ao teor de matéria orgânica. Desta forma, o domínio desta forma de vida pode ser explicado pelo fato de que no período seco a porção superficial é mais úmida e rica em nutrientes, devido ao conteúdo de matéria orgânica, ao passo que no período chuvoso, quando ocorre encharcamento temporário dessas áreas, a porção superficial do solo possui melhor aeração. Além disso, várias monocotiledôneas (que são principalmente hemicriptófitas) possuem atributos anatômicos e fisiológicos mais eficientes para adaptação ao encharcamento, justificando a sua dominância em locais alagados (Mollard *et al.* 2008; Visser *et al.* 2000).

Muitas espécies fanerofíticas observadas nesse levantamento são também frequentes em fisionomias florestais, tanto de Cerrado como de Mata Atlântica, como *Eremanthus erythropappus*, *E. incanus*, *Guatteria vilosissima*, *Handroanthus albus*, *Myrcia amazonica*, *M. splendens*, *Pera glabrata*, *Siparuna poeppigii*, *Tapirira guianensis*, *Vismia brasiliensis* e *Xylopia brasiliensis*. No entanto, pela limitação da espessura do substrato, normalmente possuem porte menor, não ultrapassando 3m de altura. A ocorrência dessas espécies denota a influência da vegetação do entorno na composição dos campos rupestres, como sugerido por Harley (1995) e Viana & Filgueiras (2008). Estas espécies ocorrem, preferencialmente, nas áreas de campos sujos, localizadas em depressões, ou áreas côncavas nas partes mais baixas dos perfis, aonde o solo

coluvial é mais espesso. Também ocorrem nas áreas de campos limpos com afloramentos, em fendas ou entre blocos de rochas, onde se acumula o solo. Nos campos rupestres sobre itabirito, nota-se, mais frequentemente, a ocorrência de fendas verticais nos blocos de rocha ou na crosta laterítica, provavelmente contribuindo para a maior ocorrência de espécies fanerofíticas.

Apesar de restrito a uma pequena área, este estudo corrobora a identificação de endemismos e da distribuição geográfica de espécies dos campos rupestres. Espécies relatadas como endêmicas de campos ferruginosos, como *Arthrocerus glaziovii* (K.Schum.) N.P.Taylor & Zappi e *Mimosa calodendron* Mart. ex Benth., não foram coletadas nas áreas de estudo. Nas áreas estudadas, *Vriesea minarum* L.B.Sm. foi coletada apenas nos campos ferruginosos. Embora esta espécie seja referida como endêmica dos campos ferruginosos (Versieux 2005), há relatos de ocorrência da mesma em campos rupestres quartzíticos nas Serras de Lavras Novas e de Ouro Branco (Guarçoni 2008). Dentre as espécies que ocorreram exclusivamente nas unidades experimentais sobre quartzito, muitas pertencem a Poaceae, Eriocaulaceae e Xyridaceae. Há a necessidade de maiores estudos florísticos nos campos rupestres do QF visando um estudo mais detalhado da sua flora e da distribuição geográfica das espécies.

As comunidades vegetais sobre afloramentos rochosos são descritas como possuindo diversidade menor do que os ecossistemas do entorno (Rizzini 1997). De acordo com Porembski *et al.* (1997) e Porembski *et al.* (1998), os campos com afloramentos rochosos do Brasil são particularmente diversos, sendo que inselbergs associados à Mata Atlântica brasileira são muito mais diversos do que aqueles encontrados na África. Os autores consideram que esta riqueza seja influenciada pelo Cerrado e Mata Atlântica circundantes. Os índices de diversidade encontrados nos campos rupestres estudados estão dentro da variação encontrada em levantamentos ao longo da Cadeia do Espinhaço, assim como em “inselbergs” do Rio de Janeiro, podendo ser considerados altos quando comparados a alguns campos rupestres. Em um afloramento quartzítico da Chapada Diamantina foram encontrados valores de 2,79 nats/ind (Conceição & Giulietti 2002); 2,53 nats/ind em campos com afloramento de canga na Serra da Mutuca (Vincent 2004) e valores de 1,74 a 2,96 nats/ind em afloramentos graníticos no Rio de Janeiro (Meirelles *et al.* 1999). Foi encontrada maior diversidade nos campos ferruginosos do presente estudo do que na Serra do Rola Moça (Jacobi *et al.* 2008). Os campos rupestres quartzíticos estudados também foram mais diversos do que alguns campos rupestres sobre quartzito-arenito, na Chapada Diamantina, (Conceição & Giulietti 2002; Conceição *et al.* 2007). No entanto, valores superiores de diversidade ($H' = 3,52$) foram encontrados por Conceição & Giulietti (2002) para o Platô 2, também na Chapada Diamantina. Lemes (2009) encontrou valores de diversidade semelhantes ao do presente estudo nos habitats sobre afloramentos rochosos e patamares sobre quartzito nas Serras do Itacolomi e de Ouro Branco. Este mesmo autor também observou maior diversidade nos campos rupestres com afloramentos do que nos patamares sobre quartzito, como postulado por

Conceição & Pirani (2007). De acordo com estes autores, nas áreas com afloramentos rochosos ocorre maior heterogeneidade ambiental com a formação de diferentes microhabitats, ao passo que os patamares seriam mais homogêneos. No presente estudo, o valor do índice de Shannon-Winer calculado para todos os habitats foi maior do que o calculado isoladamente para cada um deles, demonstrando o aumento da heterogeneidade no conjunto dos ambientes estudados.

Os levantamentos florísticos realizados em campos ferruginosos (Jacobi *et al.* 2007; Mourão & Stehmann 2007; Vianna & Lombardi 2007; Vincent 2004; Vincent & Meguro 2008) indicam que estes campos possuem menor diversidade do que os quartzíticos (Conceição & Giulietti 2002; Conceição & Pirani 2005; 2007; Conceição *et al.* 2007; Giulietti *et al.* 1987; Vincent & Meguro 2008). Nesse estudo, os campos quartzíticos foram também mais diversos que os ferruginosos, quando analisados no conjunto de habitats. Os valores de equabilidade foram menores nos campos ferruginosos, onde poucas espécies apresentam alta dominância, especialmente nos campos rupestres inclinados com afloramentos de itabirito, aonde *Vellozia compacta* e *Lagenocarpus rigidus* representaram mais de 35% do VI total. Comparativamente, os campos ferruginosos são muito mais restritivos ao estabelecimento de espécies, devido à escassez de solo e altos teores de metais, além das outras características restritivas comuns aos campos sobre quartzito (Jacobi *et al.* 2007). Desta forma, poucas espécies mostrando alta adaptação a estas características do ambiente revelaram-se dominantes na comunidade, aonde os menos adaptados não competem eficientemente. No entanto, nesse estudo, foi verificada maior diversidade nos campos sujos sobre itabirito do que nos outros habitats sobre quartzito. A maior diversidade encontrada nos campos sujos (ICS e QCS) parece estar relacionada à disponibilidade de recursos do substrato, onde o solo é mais desenvolvido, e à maior extensão das ilhas de vegetação (MacArthur & Wilson 1967). A menor pressão de seleção nesses habitats permite o estabelecimento de uma comunidade vegetal mais diversa do que nos ambientes muito restritivos, como os afloramentos rochosos (Shure & Ragsdale 1977; Ware 1990).

Assim como descrito por Viana & Filgueiras (2008) e Rizzini (1997), a riqueza de Poaceae foi menor nos campos rupestres sobre itabirito (10 espécies) que nos quartzitos (27 espécies), muito embora algumas espécies que foram exclusivas dos quartzitos já tenham sido relatadas em campos ferruginosos e vice-versa.

Comparando os diversos levantamentos florísticos de campos rupestres do Quadrilátero Ferrífero (Andrade *et al.* 1986, Brandão & Gavilanes 1990; Brandão *et al.* 1991, Brandão & Silva Filho 1993; Ferreira *et al.* 1977; Jacobi *et al.* 2007; Lemes 2009; Magalhães *et al.* 1986; Mourão & Stehmann 2007; Peron 1989; Roschel 2000; Viana & Lombardi 2007; Vincent 2004) e o presente estudo notou-se que eles possuem baixa similaridade florística ($ISj < 0,20$). Observa-se também que áreas mais próximas sobre litologias diferentes apresentam maior similaridade florística do que áreas disjuntas com a mesma litologia. A similaridade florística entre os campos rupestres sobre quartzito e itabirito do presente estudo ($ISj=0,24$) equipara-se àquela encontrada

por Jacobi *et al.* (2007) entre dois campos ferruginosos distantes entre si de 32 km (0,27). Valores mais elevados de similaridade são encontrados entre locais mais próximos, como os diversos levantamentos realizados na Serra do Rola Moça (Jacobi *et al.* 2007; Vincent 2004) e serras próximas como Serra da Calçada (Viana & Lombardi 2007; Vincent 2004), Mutuca (Vincent 2004) e Moeda (Jacobi *et al.* 2007). O mesmo se observa com relação aos campos quartzíticos, onde se notou maior similaridade entre os levantamentos da Serra de Ouro Branco (Lemes 2009) e Itacolomi (Lemes 2009; Peron 1989) do que comparando estes com aqueles da Serra da Calçada (Vincent 2004) ou Morro do Chapéu (Andrade *et al.* 1986). Comparando os campos ferruginosos do presente estudo com os demais, observou-se maior similaridade com aquele estudado por Mourão & Stehmann (2007) e Roschel (2000) ($IS_j=0,16$ e $IS_j=0,18$, respectivamente), do que com os outros a oeste do QF. Isto sugere que a distância geográfica também seja um forte determinante da similaridade florística, juntamente com a litologia. Nos quatro levantamentos florísticos sobre campos ferruginosos analisados por Jacobi & Carmo (2008) menos de 5% das espécies foram comuns a todas as áreas e algumas delas não ocorreram no presente estudo. Nenhuma espécie ocorreu em todos os levantamentos florísticos de campos rupestres do Quadrilátero Ferrífero. As espécies *Vellozia compacta*, *Lychnophora pinaster*, *Byrsonima variabilis* e *Periandra mediterranea* ocorreram em mais de 75% das localidades. No entanto, discrepâncias no esforço amostral podem levar a informações equivocadas nas relações florísticas e de falsas ausências (Gaston 1994), especialmente nos campos rupestres aonde existem muitas espécies pouco frequentes (Rapini *et al.* 2008). A baixa similaridade nos campos rupestres indica uma alta diversidade beta, justificada pela ocorrência de barreiras geográficas e pela heterogeneidade do ambiente, condicionada, dentre outros fatores, pela litologia e geomorfologia. Mesmo que os campos rupestres apresentem a mesma litologia, as rochas, e conseqüentemente os solos dela derivados, apresentam variações químicas e físicas (Benites *et al.* 2007), que também contribuem para a heterogeneidade ambiental.

No presente trabalho, o dendrograma de similaridade (Figura 4.3) evidenciou a formação de grupos determinados pela litologia e geomorfologia. Dois grupos principais se formaram, constituídos pelas diferentes litologias estudadas. Nos campos sobre quartzito, observou-se o agrupamento das parcelas dos habitats pré-estabelecidos pelos tipos geomorfológicos, formando três subgrupos: o primeiro agrupando as parcelas dos campos rupestres inclinados com afloramentos rochosos (QAF), o segundo grupo com campos rupestres nos patamares (QPL) e o terceiro, com os campos sujos localizados nos vales ou depressões (QCS). O campo quartzítico inclinado com afloramentos rochosos (QAF) foi o habitat mais dissimilar dentre aqueles dos quartzitos, possuindo 13 espécies exclusivas, dentre as 85 ocorrentes, sendo estas principalmente epilíticas ou saxícolas. QPL foi mais similar a QCS, apresentando 79 espécies em comum. A maior similaridade florística entre estes dois habitats se deve, provavelmente, à existência de solo arenoso contínuo e menos afloramentos rochosos. Nos campos ferruginosos foram observados

dois grupos, sendo que o primeiro agrupa principalmente as parcelas dos campos rupestres com afloramentos de itabirito (IAF) e de canga (IPL). O segundo grupo é formado principalmente pelas parcelas dos campos sujos (ICS). Os campos rupestres declivosos com afloramentos de itabirito nos topos das elevações (IAF) e os campos rupestres nos patamares sobre cangas couraçadas (IPL) provavelmente não formaram grupos distintos por que foi utilizada a matriz de presença e ausência na análise de agrupamentos. Muito embora o itabirito, apresentando as rochas bandadas, seja química e estruturalmente bastante diferente das lateritas (conhecidas como cangas) (Rosière & Chemale Jr. 2000), estes dois habitats apresentaram uma considerável similaridade florística ($IS_j = 0,58$), porém se diferenciando na proporção das espécies dentro de cada uma dessas comunidades. Os campos sobre afloramentos de itabirito parecem ser ainda mais restritivos às espécies vegetais, com alta dominância dos táxons melhor adaptados como *Vellozia compacta*. A grande semelhança entre estes habitats reside no fato da grande porcentagem de rochas expostas, formando ambientes propícios ao desenvolvimento de espécies epilíticas e saxícolas, assim como nas propriedades físicas do solo (Messias *et al.*, dados não publicados). Já os campos sujos ferruginosos (ICS) se discriminam dos demais campos sobre o mesmo litotipo principalmente pela presença de solo mais desenvolvido, permitindo o estabelecimento de espécies fanerofíticas de maior porte.

Os resultados encontrados indicam a geologia e as geoformas como fortes determinantes da distribuição de algumas populações, afetando a composição florística nas comunidades em campos rupestres. A baixa similaridade entre os levantamentos sugere a necessidade urgente de estudos complementares abrangendo áreas ainda não estudadas, especialmente aquelas localizadas ao sul e sudoeste do QF. Uma vez que as atividades de mineração são altamente impactantes, os campos rupestres do QF necessitam de estudos ecológicos que subsidiem os planos de recuperação de áreas degradadas, indicando possibilidades de restauração do ambiente com características mais próximas do habitat original. A grande biodiversidade alfa e beta, o alto endemismo e a presença de muitas espécies ameaçadas apontam a necessidade de identificação de áreas prioritárias e subsequente criação de unidades de conservação contemplando outras áreas de campos ferruginosos no QF. Apesar da existência de algumas unidades de conservação relatadas como possuindo campos ferruginosos, apenas o Parque Estadual da Serra do Rola Moça /Estação Ecológica dos Fechos (áreas contíguas), APA Sul RMBH, APA Estadual da Cachoeira das Andorinhas e a Floresta Estadual do Uaimii estão sob o controle do Estado (IEF 2008). Mesmo assim, frequentemente até mesmo estas unidades são objetos de degradação ambiental, com freqüentes queimadas. Urge também a necessidade de implantação de um sistema eficiente de planos de recuperação de áreas degradadas de longo prazo.

A similaridade florística encontrada entre campos rupestres quartzíticos e ferruginosos apresenta índices que se equiparam aos encontradas entre campos da mesma litologia. Portanto, num contexto fitogeográfico, os campos ferruginosos podem ser considerados como campos

rupestres, assim como sugerido originalmente por Semir (1991) e posteriormente modificado, dentre outros, por Vincent & Meguro (2008), acrescentando-se a denominação da rocha aflorante. No entanto, pela peculiaridade da flora e ocorrência de endemismos, a observância legal da preservação das diversas modalidades de campos rupestres deve ser respeitada de modo a garantir a preservação da biodiversidade.¹

Referências

- Aidar, S.T.; Meirelles, S.T.; Pocius, O.; Delitti, W.B.C.; Souza, G.M. & Gonçalves, A.N. 2010. Desiccation tolerance in *Pleurostima purpurea* (Velloziaceae). **Plant Growth Regulation** **62**: 193-202.
- Alves, R.J.V. & Kolbek, J. 2009. Summit vascular flora of Serra de São José, Minas Gerais, Brazil. **Check List** **5**: 35-73.
- Alves, R.J.V. & Kolbek, J. 2010. Vegetation strategy of *Vellozia crinita* (Velloziaceae). **Biologia** **65**: 254-264.
- Andrade, P.M.; Gontijo, T.A. & Grandi, T.S.M. 1986. Composição florística e aspectos estruturais de uma área de Campo Rupestre do Morro do Chapéu, Nova Lima, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Botânica** **9**: 13-21.
- APG (Angiosperm Phylogeny Group). 2009. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society** **161**: 105-121.
- Barthlott, W. & Porembski, S. 2000. Vascular plants on inselbergs: systematic overview. Pp.103-116. In: S. Porembski & W. Barthlott (eds.). **Inselbergs – biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions. Ecological Studies**. v.146, Berlin, Springer-Verlag.
- Benites, V.M.; Schaefer, C.E.G.R.; Simas, F.N.B. & Santos, H.G. 2007. Soil associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. **Revista Brasileira de Botânica** **30**: 569-577.
- Brandão, M. & Gavilanes, M.L. 1990. Mais uma contribuição para o conhecimento da Cadeia do Espinhaço em Minas Gerais, Serra da Piedade - II. **Daphne** **1**: 26-43.
- Brandão, M. & Silva Filho, P.V. 1993. Os campos rupestres no município de Barão de Cocais, MG. **Daphne** **3**: 11-20.

¹ **Agradecimentos** – À SAMARCO pela permissão da utilização das áreas experimentais e suporte operacional a pesquisa. À FAPEMIG, pelo financiamento do projeto CRA - APQ-00601-08. Jorge L. Silva, Auria Tonaco e Eduardo Ataíde pelo auxílio nas atividades de campo.

Brandão, M.; Gavilanes, M.L.; Laca-Buendia, J.P.; Macedo, J.F. & Cunha, L.H.S. 1991. Contribuição para o conhecimento da Cadeia do Espinhaço em Minas Gerais (Serra de Itabirito) - III. **Daphne** 1: 39-41.

Conceição, A.A. & Giulietti, A.M. 2002. Composição florística e aspectos estruturais de campo rupestre em dois platôs no Morro do Pai Inácio, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. **Hoehnea** 29: 37-48.

Conceição, A.A. & Pirani, J.R. 2005. Delimitação de habitats em campos rupestres na Chapada Diamantina, Bahia: substratos, composição florística e aspectos estruturais. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo** 23: 85-111.

Conceição, A.A.; Pirani, J.R. & Meirelles, S.T. 2007. Floristics, structure and soil of insular vegetation in four quartzite-sandstone outcrops of “Chapada Diamantina”, Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Botânica** 30: 641-656.

Conceição, A.A. & Pirani, J.R. 2007. Diversidade em quatro áreas de campos rupestres na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil: espécies distintas, mas riquezas similares. **Rodriguésia** 58: 193-206.

DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral). 2010. **Sumário mineral 2009**. Brasília, DNPM.

Dorr, J.V.N. 1969. **Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero**. Professional Paper 641-A. Washington, USGS/DNPM.

Dutra, V.F. 2005. **Levantamento de Leguminosae Adans. nos Campos Rupestres do Parque Estadual do Itacolomi, MG: florística, preferência por habitat, aspectos reprodutivos e distribuição geográfica**. Dissertação de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa.

Eiten, G. 1983. **Classificação da vegetação do Brasil**. Brasília, CNPq/Coordenação Editorial.

EMBRAPA. 1999. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, EMBRAPA.

Ferreira, M.B.; D'Assumpção, W.R.C. & Magalhães, G.M. 1977. Nova contribuição para o conhecimento da vegetação da Cadeia do Espinhaço ou Serra Geral (Maciço do Caraça). **Oréades** 10: 49-67.

Gaff, D.F. 1987. Desiccation tolerant plants in South America. **Oecologia** 74: 133-136.

Gaston, K.J. 1994. **Rarity**. London, Chapman & Hall.

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 das Espécies. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo** 9: 1-151.

Giulietti, A.M. & Pirani, J.R. 1988. Patterns of geographical distribution of some plant species from Espinhaço range, Minas Gerais and Bahia, Brazil. Pp. 39-69. In: P.E. Vanzolini & W.R. Heyer (eds.). **Proceedings of a workshop on Neotropical distribution patterns**. Rio de Janeiro, Academia Brasileira de Ciências.

- Giulietti, A.M.; Pirani, J.R. & Harley, R.M. 1997. Espinhaço Range Region, Eastern Brazil. Pp. 397-404. In: S.D. Davis; V.H. Heywood; O. Herrera-MacBride; J. Villa-Lobos & A.C. Hamilton (eds.). **Centres of plant diversity. A guide and strategy for their conservation**. Vol. 3. The Americas. Cambridge, IUCN Publication Unity.
- Griffith, J. & Toy, T.J. 2001. Evolution in revegetation of iron-ore mines in Minas Gerais State, Brazil. **Unasyiva** 52: 9-15.
- Guarçoni, E.A.E. 2008. **Bromeliaceae Juss. no Parque Estadual da Serra do Rola-Moça, Minas Gerais, Brasil: Florística, distribuição e aspectos reprodutivos de *Andrea selloana* (Baker) Mez.** Dissertação de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa.
- Hammer, O.; Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. 2001. PAST: Palaeontological Statistics software package for education and data analysis. Version 2.04. **Paleontologia electronica** 4: 9p <http://folk.uio.no/ohammer/past> (Acessado em 25/10/2010).
- Harley, R.M. 1995. Introdução. In: B. L. Stannard (ed.). **Flora of the Pico das Almas, Chapada Diamantina - Bahia, Brazil**. Kew, Royal Botanic Gardens.
- IEF 2008. **Identificação de áreas prioritárias para implantação de sistemas de áreas protegidas e corredores ecológicos no setor sul da região metropolitana de Belo Horizonte**. Série Meio Ambiente. Vol.1. AMDA / Instituto Estadual de Florestas-IEF. http://www.redeapasul.com.br/conheca_a_apasul_biodiversidade/corredores.pdf (Acessado em 08/12/2010).
- 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. Estudo fitossociológico de uma comunidade vegetal sobre canga como subsídio para a reabilitação de áreas mineradas no Quadrilátero Ferrífero, MG. **Revista Árvore** 32: 345-353.
- Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. 2008. Diversidade dos campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, MG. **Megadiversidade** 4: 24-32.
- Jongman, R.H.; Ter Braak, C.J.F. & van Tongeren, O.F.R. 1995. **Data analysis in community and landscape ecology**. Cambridge, Cambridge University Press.
- Lemes, F.O.A. 2009. **Relações florísticas, fitossociológicas e aspectos edáficos de comunidades de campos rupestres da Serra do Itacolomi e Serra de Ouro Branco, Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto, Universidade Federal de Ouro Preto.
- Lima, H.M.; Flores, J.C.C. & Costa, F.L. 2006. Plano de recuperação de áreas degradadas versus plano de fechamento de mina: um estudo comparativo. **Revista da Escola de Minas** 59: 397-402.
- MacArthur, R.H. & Wilson, E.O. 1967. **The theory of island biogeography**. Princeton, Princeton University Press.

- Magalhães, G.M.; Brandão, M.; Badini, J.; Santos, A.K.O. & Zurlo, M.A. 1986. Contribuição para conhecimento da vegetação da Cadeia do Espinhaço (Serra Geral) - Maciço do Caraça e adjacências. Pp.395-425. In: Anais do XXXVII Congresso Nacional de Botânica. Ouro Preto 1986, Ouro Preto, Ouro Preto, SBB/UFOP.
- Magurran, A.E. 2004. **Measuring biological diversity**. Oxford, Blackwell Science.
- Meguro, M.; Joly, C.A. & Bittencourt, M.M. 1977. Stress hídrico e alguns aspectos do comportamento fisiológico em *Xerophyta plicata* Spreng. - Velloziaceae. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo 5**: 27-42.
- Meirelles, S.T.; Mattos, E.A. & Silva, A.C. 1997. Potential desiccation tolerant vascular plants from Southeastern Brazil. **Polish Journal of Environmental Studies 6**: 17-21.
- Meirelles, S.T.; Pivello, V.R. & Joly, C.A. 1999. The vegetation of granite rock outcrops in Rio de Janeiro, Brazil, and the need for its protection. **Environmental Conservation 26**: 10-20.
- Messias, M.C.T.B., Leite, M.G.P., Meira-Neto, J.A.A., Kozovits, A.R. 2011. Life-form spectra of quartzite and itabirite rocky outcrop sites, Minas Gerais, Brazil. *Biota Neotropica*, **11**(2) (in press)
- Mollard, F.P.O.; Striker, G.G.; Ploschuk, E.L.; Vega, A.S. & Insaustia, P. 2008. Flooding tolerance of *Paspalum dilatatum* (Poaceae: Paniceae) from upland and lowland positions in a natural grassland. **Flora 203**: 548-556.
- 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.
- Mueller-Dombois, D. & Ellenberg, H. 1974. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York, Willey and Sons.
- Nimer, E. 1989. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro, IBGE.
- 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.; Seine, R. & Barthlott, W. 1997. Inselberg vegetation and the biodiversity of granite outcrops. **Journal of the Royal Society of Western Australia 80**: 193-199.
- Porembski, S.; Martinelli, G.; Ohlemüller, R. & Barthlott, W. 1998. Diversity and ecology of saxicolous vegetation mats on inselbergs in the Brazilian Atlantic rainforest. **Diversity and distributions 4**: 107-119.
- Porembski, S. 2007. Tropical inselbergs: habitat types, adaptive strategies and diversity patterns. **Revista Brasileira de Botânica 30**: 579-586.
- Raunkiaer, C. 1934. **The life forms of plants and statistical geography**. Oxford, Claredon Press.
- Rapini, A.; Ribeiro, P.L.; Lambert, S. & Pirani, J.R. 2008. A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. **Megadiversidade 4**: 15-23.
- Rizzini, C.T. 1997. **Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos**. Rio de Janeiro, Âmbito Cultural.

- Roschel, M.B. 2000. **Levantamento florístico fanerogâmico do campo rupestre da Estrada da Torre, Antônio Pereira, Ouro Preto, MG.** Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Rosière, C.A. & Chemale Jr. F. 2000. Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero - uma visão geral e discussão. **Geonomos 8**: 27-42.
- Semir J. 1991. **Revisão taxonômica de *Lychnophora* Mart. (Vernoniaeae: Compositae).** Tese de doutorado. Campinas, Universidade Estadual de Campinas.
- Shure, D.J. & Ragsdale, L. 1977. Patterns of primary succession on granite outcrop surfaces. **Ecology 58**: 993-1006.
- Valentin, J.L. 2000. **Ecologia Numérica - uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos.** Rio de Janeiro, Ed. Interciência.
- Varajão, C.A.C. 1991. A questão da correlação das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Revista da Escola de Minas 21**: 138-145.
- Versieux, L.M. 2005. **Bromeliáceas de Minas Gerais: catálogo, distribuição geográfica e conservação.** Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Viana, P.L. & Lombardi, J.A. 2007. Florística e caracterização dos campos rupestres sobre canga na Serra da Calçada, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia 58**: 159-177.
- Viana, P.L. & Filgueiras, T.S. 2008. Inventário e distribuição geográfica das gramíneas (Poaceae) na Cadeia do Espinhaço, Brasil. **Megadiversidade 4**: 99-116.
- Vincent R.C. 2004. **Florística, fitossociologia e relações entre a vegetação e o solo em áreas de campos ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.** Tese de Doutorado. São Paulo, Universidade de São Paulo.
- Vincent, R.C. & Meguro, M.M. 2008. Influence of soil properties on the abundance of plants species in ferruginous rocky soils vegetation, southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Botânica 3**: 377-388.
- Visser, E.J.W.; Colmer, T.D.; Blom, C.W.P.M. & Voesenek, C.J. 2000. Changes in growth, porosity and radical oxygen loss from adventitious roots of selected mono- and dicotyledonous wetland species with contrasting types of aerenchyma. **Plant, Cell & Environment 23**: 1237-1245.
- Ware, S. 1990. Adaptation to substrate-and lack of it-in rock outcrop plants: *Sedum* and *Arenaria*. **American Journal of Botany 77**: 1095-1100.
- Westhoff, V. & Maarel, E. 1978. The Braun-Blanquet approach. Pp. 289-374. In: R.H. Whittaker (ed.). **Classification of plant communities.** Netherlands, Dr. W. Junk.
- Whittaker, R.J.; Willis, K.J. & Field, R. 2001. Scale and species richness: towards a general hierarchical theory of species diversity. **Journal of Biogeography 28**: 453-470.

CAPÍTULO 5

LIFE-FORM SPECTRA OF QUARTZITE AND ITABIRITE ROCKY OUTCROP SITES, MINAS GERAIS, BRAZIL.*²

Autores: Maria Cristina Teixeira Braga Messias^{1,4}; Mariangela Garcia Praça Leite²; João Augusto Alves Meira-Neto³; Alessandra Rodrigues Kozovits¹

¹Departamento de Biodiversidade, Evolução e Meio Ambiente, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais; ²Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais; ³Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais; ⁴Autor para correspondência (cristina@iceb.ufop.br). *² Artigo aceito pela Biota Neotropica em 23/02/2011.

Running title: Life form spectra of Brazilian rocky outcrop sites.

Abstract (Life-form spectra of quartzite and itabirite rocky outcrop sites, Minas Gerais, Brazil). Vascular species and their respective life-forms and coverage were recorded in a Brazilian quartzite and itabirite rocky outcrop site at *Serra de Ouro Preto*, producing the floristic, frequency and vegetational spectra. Three habitats in both lithologies were defined by geomorphology as: 1. Sloped areas near the mountain summit, with grasslands; 2. Plateaus in the middle of the slope, with grasslands and 3. Lower and/or concave parts of the slopes, with woody savannas. The life-forms followed Raunkiaer's System. We aimed to answer the following questions: Do quartzite and itabirite rocky outcrops have different biological spectra? Are the biological spectra different in the geomorphologic habitats? Do the floristic, vegetational and frequency spectra differ from one another? What spectrum stacks up to a rocky outcrop physiognomy description? The results portrayed that: a) the most represented life-forms were the phanerophytes and hemicryptophytes; b) the floristic and frequency spectra did not differ from each other, but both differed from the vegetational one; c) all the floristic spectra were similar, but there were significant differences in the frequency and vegetational spectra among the lithology and geomorphology habitats; d) higher phanerophyte and lesser hemicryptophyte coverages were found in the itabirite areas and also in the lower or concave parts of the slopes of both lithologies and e) the vegetational spectrum was more efficient for the studied rocky outcrop comparison. Relationships between the environmental aspects and life-form spectra are discussed. This study will help advance the development of restoration projects for these areas by adding knowledge of their flora composition, structure and function.

Key words: biological spectrum, ferruginous rocky outcrops, Quadrilátero Ferrífero, Raunkiaer.

Resumo - (Formas de vida em campos rupestres sobre quartzito e itabirito, em Minas Gerais, Brasil). Realizou-se um levantamento das espécies vasculares e suas respectivas formas de vida e coberturas, em campos rupestres na Serra de Ouro Preto, sobre quartzito e itabirito, para construção dos espectros florísticos, de frequência e vegetacional. Em cada litologia foram delimitados, pela geomorfologia, três tipos de habitats: 1. Áreas inclinadas, nos topos das montanhas, com campos limpos; 2. Patamares, na parte mediana das encostas, com campos limpos e 3. Partes mais baixas ou côncavas das encostas, com campos sujos. As formas de vida seguiram o sistema de Raunkiaer. Averiguaram-se as seguintes questões: Campos rupestres sobre itabirito e quartzito possuem diferentes espectros biológicos? Os habitats estratificados pelas geformas diferem quanto aos espectros biológicos? Os espectros florísticos, de frequência e vegetacional diferem entre si? Qual espectro se destaca como descritor da fisionomia de campos rupestres? Os resultados evidenciaram que: a) fanerófitas e hemicriptófitas são as formas de vida predominantes; b) os espectros florísticos e de frequência não diferiram entre si e ambos foram estatisticamente diferentes do espectro vegetacional; c) os habitats estratificados pela litologia e geomorfologia apresentaram espectros florísticos similares, mas os espectros de frequência e vegetação mostraram diferenças significativas; d) maior cobertura de fanerófitas e menor cobertura de hemicriptófitas foram encontradas nas áreas sobre itabirito, assim como nas partes mais baixas ou côncavas das encostas, em ambas litologias; e) o espectro vegetacional mostrou-se mais eficiente para comparação dos habitats. Aspectos do ambiente relacionados com a distribuição de formas de vida são discutidos. Este estudo subsidia programas de restauração ambiental, ampliando o conhecimento da vegetação de campos rupestres.

Palavras-chave: campos ferruginosos, espectro biológico, Quadrilátero Ferrífero, Raunkiaer.

Introduction

Campos Rupestres are also known as montane savannas, a kind of Brazilian rocky outcrop, that mainly occurs in the Espinhaço Range (*Cadeia do Espinhaço*), which extends northward from the State of Minas Gerais, to the State of Bahia, between 20°35'S and 11°11'S (Meguro et al. 1994). They are located in contact zones between the Cerrado (the main Neotropical savanna) and the Atlantic Forest (southern Espinhaço), as well as in transition zones of the Caatinga, the Cerrado and the Atlantic Forest (central and northern Espinhaço), important terrestrial hotspots (Myers 1988). They harbor a great biodiversity and many endemic and threatened species (Giulietti & Pirani 1988). The dominant vegetation is herbaceous and presents a mosaic of shrubs and subshrubs growing in a wide variety of substrates, including rocks and recently-decomposed stony, sandy or colluvial soils. The most common type of rock in this region is quartzite (Benites et al. 2007). According to Harley & Simmons (1986), “campos rupestres” is the expression that defines the vegetation growing on quartzite-sandstone substrate, although this terminology is used to refer to Brazilian vegetation found on other kinds of rocky substrate such as granitic-gneiss (e.g. Queiroz et al. 1996) or itabirite (e.g. Jacobi & Carmo 2008, Mourão & Stehmann 2007, Viana & Lombardi 2007). In the *Quadrilátero Ferrífero*, Southeastern Brazil, rocky outcrops occur frequently in areas with quartzite rocks, interspersed with itabirite, metasandstone, phyllite, schist and gneiss. Itabirite is frequently covered with a layer of duricrusts, formed by the rock's lateritic chemical weathering, known as *cangas* (Rosière & Chemale Jr. 2000)

Rocky outcrop plant communities are basically controlled by edaphic conditions, and often represent islands of xeric communities rising in a matrix of mesophytic vegetation (Porembski et al. 1994, 1998). Species show adaptation to over-heating or drought, such as: trichomes or persistent leaf sheaths for isolation and water uptake and accumulation, succulence, sclerophylly and desiccation tolerance, in the so-called resurrection plants (Gaff 1977, 1987, Porembski & Barthlott 2000). The vegetation of ironstone outcrops also exhibits adaptations to living in a substrate rich in heavy metals like Iron, Manganese, Copper, Lead and others (Vincent & Meguro 2008). Little is known about the communities in iron-rich rocks compared to other kinds of rocky outcrops (Jacobi et al. 2007, Jacobi & Carmo 2008, Mourão & Stehmann 2007, Silva 1991, Viana & Lombardi 2007, Vincent 2004, Vincent & Meguro 2008). In Brazil, plant communities in itabirite rocks occur in two main areas: *Serra dos Carajás*, in the Amazon region and *Quadrilátero Ferrífero* in the Southeast. These areas are threatened mainly by the high intensity of open pit mining.

According to Cain (1950), life-form studies are almost as important as the floristic composition in vegetation description. Plants can be categorized into different life-form classes depending on their similarities in structure and function (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974,

Harrison et al. 2010). A life-form is characterized by the plant's adaptations to specific ecological conditions (Mera et al. 1999). Raunkiaer (1934) suggested a system for the classification of the life-forms of plants based on the position and degree of protection of the renewing buds, which are responsible for the renewal of the plant's aerial body on arrival of the season favorable to growth. In Raunkiaer's (1934) system, the harsher the unfavorable season is, the more protected the renewing buds are. This author stated five major classes, ordered according to increased protection of the renewing buds: phanerophytes, chamaephytes, hemicryptophytes, cryptophytes and therophytes. The original classification of Raunkiaer was changed by Mueller-Dombois and Ellenberg (1974), among others, to add plant features in the favorable season. Raunkiaer's system was strongly criticized (Sarmiento & Monasterio 1983), but is still considered, in several ways, the most fundamental explanation for why certain combinations of plant species co-occur in a given habitat (Begon et al. 1996, Lomolino et al. 2005).

A floristic spectrum is created with a species list, where every species has the same weight. However, the usefulness of life-form spectra, for ecological investigations, seems to depend largely on some means of evaluating the species composing the flora of the communities (Cain 1950). The weighting of the species could be accomplished by the use of any quantitative data concerning the species, such as number of individuals, frequency or coverage. When the number of individuals of each life-form is counted, instead of species, each class can be weighted by its abundance, resulting in the vegetation's biological spectrum. This feature describes the vegetation rather than the flora, and allows comparisons to other spectra similarly constructed for other sites. However, Raunkiaer (1934) asserted that counting plant individuals in a survey is complicated, because sometimes it is difficult to distinguish what an individual is. For this reason, this author proposed a frequency spectrum, using the number of sampling units in which the species is present to weight the species.

In a Brazilian granitic rocky outcrop, Caiafa & Silva (2005) found that the floristic spectra were different in the different habitats, where the grasslands had a higher percentage of hemicryptophytes followed by chamaephytes; and the scrub boundaries are more phanerophytic. Conceição & Giulietti (2002), Conceição & Pirani (2005) and Conceição et al. (2007a, b), working in quartzite-sandstone rocky outcrop areas, described these communities as having a high percentage of hemicryptophytes and a lack of therophytes. Little is known about life form spectra in ferruginous rocky outcrops (Jacobi et al. 2007).

There are few quantitative studies in ferruginous rocky outcrops in relation to quartzitic and granitic ones; known only are those of Jacobi et al. (2007), Jacobi & Carmo (2008), Vincent (2004) and Vincent & Meguro (2008). The accomplishment of ecological studies in Brazilian rock outcrops is important to improve the knowledge of Brazilian phytogeography by understanding the adaptation of plants to the environment and how they contribute to vegetational

structure and physiognomy. Since the ferruginous rocky outcrops are highly threatened by mining activities, the ecological knowledge of this environment will also help advance the development of restoration projects for these areas.

The aim of this study was to answer the following questions: Do the floristic, vegetational and frequency spectra differ from quartzite to itabirite areas? Are the biological spectra different in the different geomorphologic habitats? What classes characterize these rocky outcrop life-form spectra? Do the floristic, vegetational and frequency spectra differ from one another? What aspects of the environment might be related with the distributions of life-form? What spectrum stacks up to a rocky outcrop physiognomy description?

Material and method

1. Study sites - This study was carried out in the Municipalities of Ouro Preto and Mariana, Minas Gerais State, southeastern Brazil, at about 20°10'S and 43°30'W, 890 to 1250 meters above sea level. This area belongs to Samarco Mineração S.A. and is part of the *Serra de Ouro Preto*, South of *Espinhaço* Range. The climate according to Köppen is Cwb, i.e. mesothermic, with a rainy summer concentrated during November-March and a dry winter (Nimer 1989). The annual mean rainfall is 1250mm and the annual mean temperature is around 20°C. Two *campos rupestres* areas, 12 km apart, with different kinds of rock (itabirite and quartzite), were selected to set the plots. The rocky outcrops in each lithology were stratified in three habitats by geomorphology as: 1. Sloped areas with bare rocks, near the mountain summit, with grasslands (*campos limpos*); 2. Plateaus, in the middle of the slope, with no more than 10% slope inclination, with grasslands (*campos limpos*); 3. Lower and/or concave parts of the slopes, in valleys or depressions, with woody savannas (*campos sujos*). Altogether six habitats were studied, determined by the two lithologies and three different geomorphologies. The grasslands in the sloped areas, established on itabirite (ISG), showed bare rocks with typical banded iron formation feature. The grasslands on the plateaus (IPG) had duricrusts formed by the lateritic chemical weathering of itabirite, known locally as *cangas couraçadas*. The woody savannas on itabirite (IWS) also had *cangas* partially covered by colluvial soil. On the other hand, the sloped grassland areas on quartzite (QSG) had a great amount of smooth bare rocks, and either shallow soil occupying the gaps between them, or forming small pools in their depressions. The grassland plateaus in the quartzitic areas (QPG) were comprised of a sandy, shallow and continuous soil with almost no bare rocks. The soil in this habitat showed poor drainage in the rainy season. The woody savannas on quartzite (QWS) presented sandy and colluvial soil with occasional bare rocks.

2. Methods - The survey was carried out from September/2007 to February/2009 by weekly field trips. In each lithology, thirty 10x10m plots, ten in each geomorphological habitat, were defined.

All the vascular species were collected, identified and classified into life-forms according to Raunkiaer's System (Raunkiaer 1934). The cover area (%) of each species was estimated as a measure of dominance (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974), by the vertical projection of the aerial parts of each species as a percentage of the total area of the plot (Westhoff & Maarel 1978). The cover area estimation was assessed similar to the Braun-Blanquet method (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974). The difference was that the cover area was evaluated as a continuous variable instead of using the categorical values of the Braun-Blanquet Cover-abundance Scale. After all species were recorded, the cover-abundance rating of each species was assigned from a point that had the best overview of the plot's entire plant assemblage. All the collected specimens were herborized and deposited in the Herbarium "Professor José Badini" (OUPR) of the Universidade Federal de Ouro Preto and grouped according to the Angiosperm Phylogeny Group (APG 2009).

The data of each species life-form were used to construct the floristic, frequency and vegetational spectra (Raunkiaer 1934). Only Raunkiaer's major classes (phanerophytes, chamaephytes, hemicryptophytes, cryptophytes and therophytes) were considered in this analysis. The lianas and epiphytes were included in the phanerophyte class, while the geophytes and saprophytes were put in the cryptophyte class, as originally proposed by Raunkiaer (1934). In the frequency spectrum, each species was weighted by the number of plots in which it appeared, whereas in the vegetational spectrum, each life-form was weighted by its coverage (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974). In the construction of the biological spectra, each species was assigned to a single life-form class - the one in which the renewing buds were less protected. The biological spectra of each habitat were compared pairwise with a homogeneity analysis (Zar 1999) to test whether the life-form proportions were significantly different.

Results

In this survey, 263 vascular species were collected, belonging to 64 families, of which 135 (51.3%) were considered phanerophytes; 88 (33.5%), hemicryptophytes; 23 (8.8%), chamaephytes; 9 (3.4%), cryptophytes and 8 (3%), therophytes. Among the phanerophytes, *sensu* Raunkiaer (1934), 13 species are lianas and one is epiphyte. The families with the greater number of species were Poaceae (28 species), Asteraceae (26), Melastomataceae (19), Fabaceae (17), Rubiaceae (14), Myrtaceae (13), Cyperaceae and Orchidaceae (12) (Table 1) (*Tabela 5.1*).

In the floristic, frequency and vegetational spectra (Figure 1) (*Figura 5.1*), the most remarkable feature was the high percentage of phanerophytes. The floristic spectra from the different studied habitats did not present any significant difference (Table 2) (*Tabela 5.2*).

Significant differences were found among the frequency spectra of the different studied habitats (Table 2) (*Tabela 5.2*). When comparing the different habitats in the quartzite areas, there was not any significant difference among them, but there were differences when comparing them

with the corresponding habitats in the itabirite areas. The frequency of phanerophytes is higher than the other life forms in every studied habitat, but in QSG and QPG the frequency of hemicryptophytes is closer to that of the phanerophytes (Figure 1) (*Figura 5.1*). Furthermore, the highest frequency of chamaephytes was found in these two habitats. QSG showed a higher frequency of chamaephytes and a lower frequency of phanerophytes than in ISG. IWS presented a higher frequency of phanerophytes and cryptophytes and a lower frequency of chamaephytes, therophytes and hemicryptophytes in comparison to QWS. The frequency spectra did not present significant differences between the grassland (*campos limpos*) and woody savanna (*campos sujos*) physiognomies.

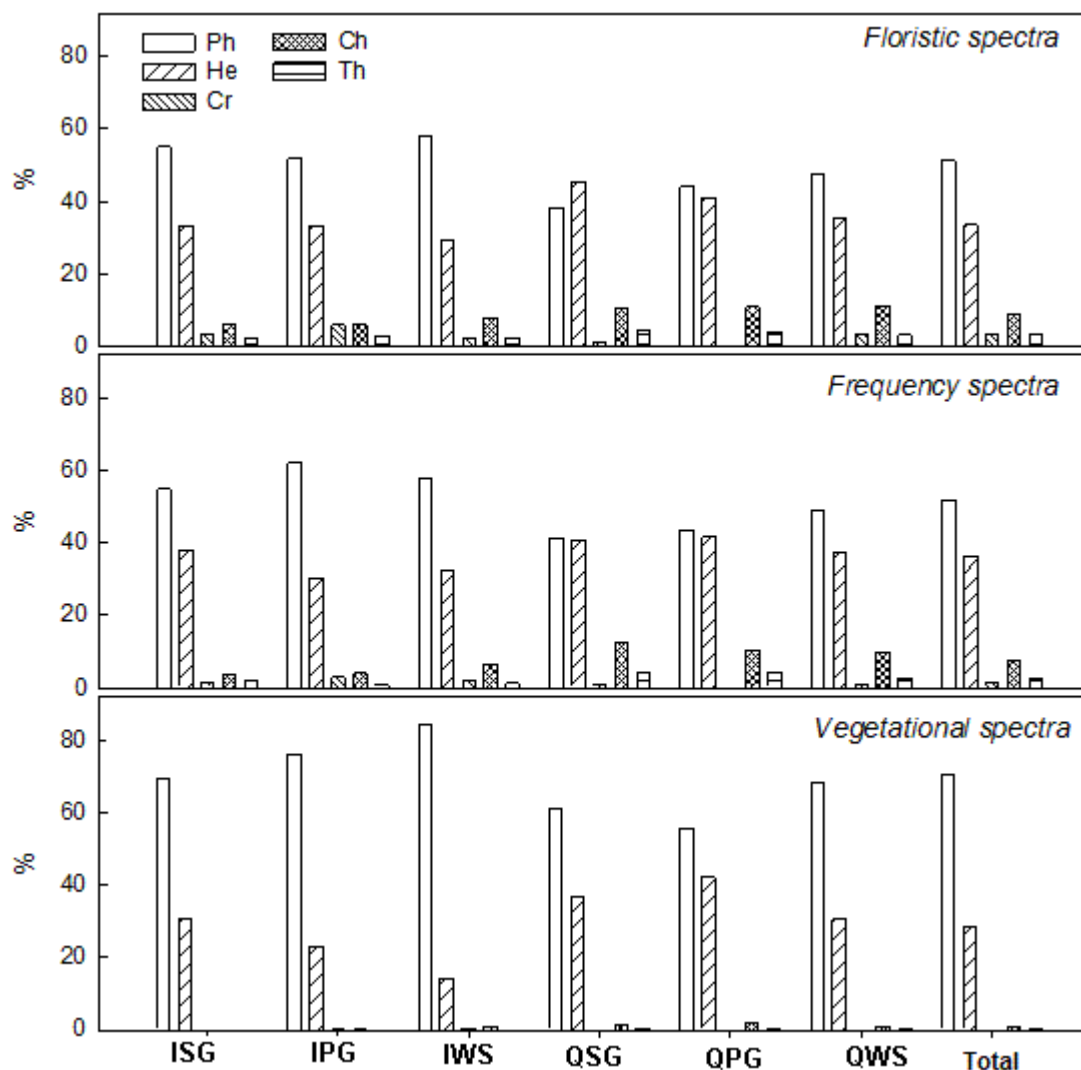


Figura 5.1. Floristic, frequency, and vegetational life-form spectra of rocky outcrop sites (approximately, 20°10'S - 43°30'W). Ph = phanerophyte; He = hemicryptophyte; Cr = cryptophyte; Ch = chamaephyte; Th = therophyte; ISG = Grasslands in sloped areas, with bare itabirite rocks, near the mountain summit; IPG = Grasslands on the itabirite plateaus, in the middle of the slope; IWS = Woody savannas in the lower and/or concave parts of the slopes, in valleys or depressions of the itabirite areas; QSG = Grasslands in sloped areas, with bare quartzite rocks, near the mountain summit; QPG = Grasslands on the quartzite plateaus, in the middle of the slope; QWS = Woody savannas in the lower and concave parts of the slopes, in valleys or depressions of the quartzite areas; Total = All the habitats.

Significant differences among the vegetational spectra of the different studied habitats were found. (Table 2) (*Tabela 5.2*). Quartzite and itabirite areas showed a significant difference in their vegetational spectra ($X^2 = 80.3$, d.f. = 4, $p < 0.001$). The dominance of phanerophytes was greater and the hemicryptophytes was lesser in the itabirite habitats. The woody savannas, in both lithologies, have a greater dominance of phanerophytes and a lesser dominance of hemicryptophytes when compared with the grasslands. The vegetational spectra for both kinds of grasslands in the itabirite areas (ISG, IPG) differed from that of the woody savannas in the same lithology (IWS). The grasslands on the quartzitic plateaus (QPG) were different from QWS by the same pattern. However, the vegetational spectrum in QSG did not show the same standard and isn't statistically different from QWS. The greatest hemicryptophyte dominance among all the studied habitats was found at QPG. Grasslands with bare rocks on itabirite (ISG) differed significantly ($p < 0.05$) from the plateaus with the same lithology (IPG), mainly due to the greater proportion of hemicryptophytes. ISG also showed a significant difference from QSG, explained by a greater phanerophyte dominance, followed by a lesser dominance of hemicryptophytes and chamaephytes in ISG. The plateaus with *canga* (IPG) showed the least hemicryptophyte dominance of all the grasslands.

By analyzing all the studied habitats together, the floristic and frequency spectra did not differ significantly from each other ($X^2 = 7.63$, $p > 0.106$) and both were different from the vegetational one ($X^2 = 271.23$, $p < 0.001$ and $X^2 = 413.8$, $p < 0.001$ respectively) (Table 2) (*Tabela 5.2*).

Phanerophytes are usually Magnoliopsida, except for *Vellozia compacta* and *Barbacenia flava*, while the hemicryptophytes are mainly Liliopsida, from the Poaceae family (Table 1).

Tabela 5.1. Species list of rocky outcrop sites (approximately, 20°10'S - 43°30'W) and their respective life-form and mean coverage (%) in the different habitats.

Voucher: Collect number of MCTB Messias; LF = Life-form; Ph = phanerophyte; He = hemicryptophyte; Cr = cryptophyte; Ch = chamaephyte; Th = therophyte; ISG = Grasslands in sloped areas, with bare itabirite rocks, near the mountain summit; IPG = Grasslands on the itabirite plateaus, in the middle of the slope, with no more than a 10% inclination; IWS = Woody savannas in the lower and/or concave parts of the slopes, in valleys or depressions of the itabirite areas; QSG = Grasslands in sloped areas, with bare quartzite rocks, near the mountain summit; QPG = Grasslands on the quartzite plateaus, in the middle of the slope, with no more than a 10% inclination; QWS = Woody savannas in the lower and concave parts of the slopes, in valleys or depressions of the quartzite areas.

Family / Species	Voucher	LF	Itabirite			Quartzite		
			ISG	IPG	IWS	QSG	QPG	QWS
Acanthaceae								
<i>Ruellia macrantha</i> (Mart. ex Ness) Lindau	2115	Ph	0	0.03	0.18	0	0.02	0.31
Anacardiaceae								
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	1898	Ph	0	0	0	0	1.42	3.82
Anemiaceae								
<i>Anemia ferruginea</i> Humb. & Bonpl. ex Kunth	2000	He	0	0	0	0.01	0	0
<i>Anemia hirsuta</i> (L.) Sw.	1577	He	0	0	0.01	0	0	0
Annonaceae								
<i>Guatteria vilosissima</i> A. St.-Hil.	2268	Ph	0	0	0	0	0	0.35
<i>Xylopia sericea</i> A. St.-Hil.	2066	Ph	0	0	0	0	0	0.7
Apocynaceae								
<i>Blepharodon pictum</i> (Vahl) W.D.Stevens	1938	Li	0	0	0	0	0	0.02
<i>Ditassa laevis</i> Mart.	1708	Li	0.01	0	0.02	0.01	0	0
<i>Ditassa linearis</i> Mart.	1453	Li	0.03	0.04	0.01	0	0	0.02
<i>Ditassa mucronata</i> Mart.	1797	Li	0.02	0.03	0.07	0	0.03	0.05
<i>Forsteronia velloziana</i> (A.DC.) Woodson	2061	Li	0	0	0	0	0	0.02
<i>Mandevilla tenuifolia</i> (J.C.Mikan) Woodson	1447	Th	0.05	0.01	0.01	0	0	0
<i>Minaria decussata</i> (Mart.) T.U.P.Konno & Rapini	1669	Ch	0	0.01	0	0	0	0
Aquifoliaceae								
<i>Ilex subcordata</i> Reissek	2069	Ph	0.44	0.33	0.82	0	0.08	0.08
Araceae								
<i>Anthurium minarum</i> Sakur. & Mayo	1287	He	0.06	0.03	0.01	0	0	0
<i>Philodendron rhizomatosum</i> Sakur. & Maio	1604	Cr	0	0.01	0	0	0	0
Araliaceae								
<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire <i>et al.</i>	1548	Ph	0.05	0.15	0.35	0	0	0.08
Aristolochiaceae								
<i>Aristolochia fimbriata</i> Cham.	1673	He	0	0.01	0.01	0	0	0
<i>Aristolochia smilacina</i> (Klotzsch) Duch.	1667	He	0	0.01	0.02	0.02	0	0.04
<i>Aristolochia</i> sp.1	1664	He	0	0	0.02	0	0	0
<i>Aristolochia</i> sp.2	1859	He	0.06	0.01	0	0.11	0.01	0
Asteraceae								
<i>Achyrocline satureioides</i> (Lam.) DC.	2132	Ph	0	0.01	0	0	0	0
<i>Baccharis platypoda</i> DC.	1974	Ph	0	0.03	0.02	0.13	1.79	0.01
<i>Baccharis punctulata</i> DC.	1792	Ph	0	0.05	0.02	0	0	0
<i>Baccharis reticularia</i> DC.	1485	Ph	2.12	0.34	0.79	0.47	0.11	0.79
<i>Baccharis serrulata</i> (Lam.) Pers.	1851	Ph	0	0	0	0.23	0.04	0.02
<i>Calea clematidea</i> Baker	1833	Ph	0	0	0	0.03	0.51	1.27
<i>Chromolaena squalida</i> (DC.) R.M.King & H.Rob.	1487	Ph	0.06	0.02	0.02	0	0	0
<i>Cyrtocymura scorpioides</i> (Lam.) H.Rob.	1894	Ph	0	0	0.02	0.05	0.24	0.11
<i>Dasyphyllum sprengelianum</i> (Gardner) Cabrera	1740	Ph	0.23	0	0	0	0	0
<i>Echinocoryne holosericea</i> (Mart. ex DC.) H.Rob.	1726	Ph	0	0.05	0.15	0	0	0
<i>Eremanthus crotonoides</i> (DC.) Sch.Bip.	2117	Ph	0.4	1.65	2.49	5.7	5.6	5.7
<i>Eremanthus erythropapus</i> (DC.) MacLeish	1475	Ph	0.6	0.8	11.8	2.8	1.16	8.25
<i>Eremanthus incanus</i> (Less.) Less.	1394	Ph	2.5	0	2.5	5.6	0.15	0

Family / Species	Voucher	LF	Itabirite			Quartzite		
			ISG	IPG	IWS	QSG	QPG	QWS
<i>Hololepis penduculata</i> (DC. ex Pers.) DC.	1383	Ph	0.66	0.08	0.09	0	0	0
<i>Koanophyllon adamantium</i> (Gardner) R.M.King & H.Rob	1653	Ph	0	0.02	0.11	0	0	0
<i>Lychnophora pinaster</i> Mart.	1360	Ph	2.23	12.3	0.5	0	0	0
<i>Lychnophora syncephala</i> (Sch.Bip.) Sch.Bip.	1496	Ph	0.03	0.01	0	0	0	0
<i>Mikania</i> sp.	1982	Li	0	0	0	0	0.06	0.05
<i>Moquinia racemosa</i> (Spreng.) DC.	1651	Ph	0	0	0.3	0	0	0
<i>Pseudobrickellia angustissima</i> (Spreng. ex Baker) R.M. King & H.Rob.	1454	Ph	0.06	0	0	0	0	0
<i>Richterago amplexifolia</i> (Gardner) Kuntze	1714	He	0	0	0.04	0	0	0
<i>Richterago radiata</i> (Vell.) Roque	1779	He	0	0	0	0.12	0.25	0.16
<i>Senecio pohlii</i> Sch.Bip. ex Baker	1666	Ph	0.01	0	0.02	0	0	0
<i>Trichogonia hirtiflora</i> (DC.) Sch.Bip. ex Baker	1720	Ch	0.01	0	0.02	0	0	0
<i>Trichogonia villosa</i> (Spreng.) Sch.Bip. ex Baker	1526	Ph	0	0	0	0.02	0.04	0.02
<i>Vernonia</i> sp.	1988	Ph	0	0	0	0	0.07	0.2
Bignoniaceae								
<i>Handroanthus albus</i> (Cham.) Mattos	1981	Ph	0	0	0	0	0.05	0.05
Bromeliaceae								
<i>Cryptanthus schwackeanus</i> Mez.	1705	He	0.02	0.03	0.03	0	0	0
<i>Dyckia</i> cf. <i>cinerea</i> Mez	1879	He	0.04	0	0	0.31	0	0.06
<i>Dyckia rariflora</i> Schult. & Schult.f.	1689	He	0.32	0.16	0.08	0.83	0	0
<i>Tilandsia stricta</i> Sol.	2168	Ep	0	0	0.01	0	0	0
<i>Vriesea minarum</i> L.B.Sm.	1671	He	0	0.1	0.01	0	0	0
Chrysobalanaceae								
<i>Hirtella floribunda</i> Cham. & Schtdl.	2032	Li	0	0	0	0	0.02	0
Clusiaceae								
<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.	1783	Ph	0	0	0	0	0.02	0
Convolvulaceae								
<i>Jacquemontia prostrata</i> Choisy	1868	He	0	0	0.02	0	0	0
Cyperaceae								
<i>Bulbostylis capillaris</i> (L.) C.B.Clarke	1928	He	0	0	0	0.03	0.02	0.02
<i>Bulbostylis juncooides</i> (Vahl) Kük.	1924	He	0.03	0	0	0.09	0.02	0
<i>Bulbostylis</i> sp.	2016	He	0	0	0	0	0.01	0
<i>Dichromena</i> sp.	1598	He	0	0.01	0	0	0	0
<i>Lagenocarpus rigidus</i> Ness	1292	He	22	4.45	3.15	7.76	1.07	0.03
<i>Rhynchospora corymbosa</i> (L.) Britton	2031	He	0	0	0	0	0	0.4
<i>Rhynchospora tenuis</i> Link	1940	He	0	0.12	0	0.02	0.13	0.14
<i>Rhynchospora</i> sp.1	1930	He	0.5	0.51	0	0	0	0.02
<i>Rhynchospora</i> sp.2	2093	He	0	0	0	0	0.06	0
<i>Scleria hirtella</i> Sw.	1886	He	0	0	0	0.01	0.11	0.05
<i>Scleria</i> sp.	1644	He	0	0.02	0.01	0	0	0
<i>Trilepis microstachya</i> (C.B.Clarke) H.Pfeiff.	1594	He	0.01	0.21	0.03	0	0	0
Dilleniaceae								
<i>Doliocarpus elegans</i> Eichler	2274	Li	0	0	0	0	0.1	0
Dioscoreaceae								
<i>Dioscorea campestris</i> Griseb.	1875	Cr	0.02	0	0	0.02	0	0.01
<i>Dioscorea debilis</i> Uline ex R.Knuth	1675	Cr	0	0.03	0.05	0	0	0
Ericaceae								
<i>Agarista pulchella</i> var. <i>cordifolia</i> (Meisn.) Judd	1421	Ph	0.18	0.15	0	0	0	0
<i>Agarista pulchra</i> (Cham. & Schtdl.) G.Don	1716	Ph	0	0	0.02	0	0	0
<i>Gaylussacia amoena</i> Cham.	1650	Ph	0	0	0.03	0	0	0
<i>Gaylussacia reticulata</i> Mart. ex Meisn. var. <i>reticulata</i>	1670	Ph	0	0.1	0	0	0	0

Family / Species	Voucher	LF	Itabirite			Quartzite		
			ISG	IPG	IWS	QSG	QPG	QWS
Eriocaulaceae								
<i>Actinocephalus bongardii</i> (A.St.-Hil.) Sano	1796	He	0	0	0.02	0	0	0
<i>Paepalanthus cacuminis</i> Ruhland	1719	He	0	0	0.04	0	0	0
<i>Paepalanthus decussus</i> Körn.	1963	He	0	0	0	0	0.01	0
<i>Paepalanthus dianthoides</i> Mart. ex Körn.	1733	He	0	0	0.03	0	0	0
<i>Paepalanthus planifolius</i> (Bong.) Körn.	1524	He	0.01	0	0.01	0.02	0.89	0.15
<i>Paepalanthus vaginatus</i> Körn.	1861	He	0	0	0	0.08	0.42	0.2
Erythroxylaceae								
<i>Erythroxylum gonocladum</i> (Mart.) O.E.Schulz	1652	Ph	0	0	0.5	0	0	0
Euphorbiaceae								
<i>Croton comosus</i> Müll.Arg.	1478	Ph	0.08	0.02	0	0	0	0
<i>Croton erythroxylodes</i> Baill.	1397	Ph	0.90	0.99	0.1	0	0	0
<i>Maprounea brasiliensis</i> A.St.-Hil.	1513	Ph	0	0	0	0	0	0.2
<i>Microstachys daphnoides</i> (Mart.) Müll. Arg.	1596	Ph	0	0.02	0.08	0	0	0
Fabaceae (Leguminosae – Caesalpinioideae)								
<i>Bauhinia rufa</i> (Bong.) Steud.	2013	Ph	0.9	0.12	0.05	0.02	0	0
<i>Chamaecrista desvauxii</i> (Collad.) Killip	1993	Ch	0	0	0	0	0.02	0
<i>Chamaecrista flexuosa</i> (L.) Greene	1836	Ch	0	0	0	0.05	0.05	0.01
<i>Chamaecrista mucronata</i> (Spreng.) H.S.Irwin & Barneby	1632	Ph	0	0	0.04	0.01	0.1	0.06
<i>Chamaecrista ochracea</i> (Vogel) H.S.Irwin & Barneby	1828	Ph	0	0	0	0	0	0.02
<i>Chamaecrista rotundifolia</i> (Pers.) Greene	1891	He	0	0	0	0.01	0	0.01
<i>Senna reniformis</i> (G. Don) H.S.Irwin & Barneby	1473	Ph	0.1	0	0	0	0	0.06
Fabaceae (Leguminosae – Papilionoideae)								
<i>Aeschynomene elegans</i> Schldtl. & Cham.	1558	Ch	0.01	0.02	0.03	0	0	0.01
<i>Centrosema coriaceum</i> Benth.	1818	He	0.06	0.02	0.05	0	0	0
<i>Clitoria densiflora</i> (Benth.) Benth.	1702	Ph	0	0	0.01	0	0	0
<i>Desmodium barbatum</i> (L.) Benth.	1913	He	0	0	0	0.01	0	0.01
<i>Galactia martii</i> DC.	1384	He	0.12	0.05	0	0	0	0
<i>Periandra mediterranea</i> (Vell.) Taub.	1522	Ph	1.48	0.37	0.59	0.77	0.18	0.43
<i>Stylosanthes gracilis</i> Kunth	1965	Ch	0	0	0	0.01	0.01	0.01
<i>Stylosanthes ruellioides</i> Mart.	1694	Ch	0	0	0.05	0	0	0
<i>Stylosanthes viscosa</i> (L.) Sw.	1911	Ch	0	0	0	0.01	0.01	0.03
<i>Zornia reticulata</i> Sm.	1889	Ch	0	0	0	0.03	0.01	0.02
Gentianaceae								
<i>Calolisianthus pedunculatus</i> (Cham. & Schldtl.) Gilg	2162	Ch	0	0	0.01	0	0	0
Gesneriaceae								
<i>Nematanthus strigillosus</i> (Mart.) H.E. Moore	1621	Ch	0.01	0.01	0.06	0	0	0
<i>Paliavana sericiflora</i> Benth.	1464	Ph	0.38	0.15	0.22	0	0	0
Gleicheniaceae								
<i>Dicranopteris flexuosa</i> (Schrad.) Underw.	1915	He	0	0	0	0.01	0.53	0
Hypericaceae								
<i>Vismia brasiliensis</i> Choisy	2247	Ph	0	0	0	0	0.1	0
Iridaceae								
<i>Cipura paludosa</i> Aubl.	1914	He	0	0	0	0.01	0	0
<i>Neomarica</i> sp.	1611	Cr	0.01	0.02	0	0	0	0.01
<i>Sisyrinchium</i> sp.	1625	Cr	0.01	0.01	0.04	0	0	0
<i>Trimezia</i> sp.	1674	Cr	0	0.01	0.03	0	0	0
Lamiaceae								
<i>Aegiphila verticillata</i> Vell.	1580	Ph	0	0	0.15	0	0	0
<i>Hyptis homalophylla</i> Pohl ex Benth.	1895	Ch	0	0	0.03	0.03	0.14	0.16
<i>Hyptis monticola</i> Mart.ex Benth.	1685	Ph	0.7	0.27	0.07	0	0	0

Family / Species	Voucher	LF	Itabirite			Quartzite		
			ISG	IPG	IWS	QSG	QPG	QWS
<i>Hyptis passerina</i> Mart.ex Benth.	1451	Ph	0.17	0	0	0	0	0
Lauraceae								
<i>Cinnamomum erythropus</i> (Nees & Mart.) Kosterm.	1790	Ph	0	0.1	0.04	0	0	0
<i>Ocotea caesia</i> Mez	1636	Ph	0.15	0	0.93	0	0	0
<i>Ocotea nutans</i> (Nees) Mez	1729	Ph	0	0.3	0.18	0	0	0.08
<i>Ocotea percoriacea</i> Kosterm.	1711	Ph	0	0	0.54	0	0	0
<i>Persea</i> sp.	1718	Ph	0	0	0.02	0	0	0
Lentibulariaceae								
<i>Utricularia amethystina</i> Salzm. ex A.St.-Hil. & Girard	1983	Th	0	0	0	0	0.01	0
Lindsaeaceae								
<i>Lindsaea guianensis</i> (Aubl.) Dryand.	2063	He	0	0	0	0	0	0.01
Loganiaceae								
<i>Spigelia spartioides</i> Cham.	1631	Th	0	0.01	0.03	0	0	0
Loranthaceae								
<i>Phoradendron falcifrons</i> (Hook. & Arn.) Eichler	1978	Li	0	0	0	0	0.08	0.04
Lycopodiaceae								
<i>Lycopodiella cernua</i> (L.) Pic.Serm.	2025	He	0	0	0	0	0.01	0
Lythraceae								
<i>Diplusodon microphyllus</i> Pohl	1704	Ph	0.44	0.21	0.2	0	0	0
Malpighiaceae								
<i>Byrsonima variabilis</i> A.Juss.	1633	Ph	1.28	0.08	1.69	0.3	0	0.33
<i>Heteropterys campestris</i> A.Juss.	1787	Ph	0.28	0.17	0.2	0	0	0
<i>Heteropterys escalloniifolia</i> A.Juss.	1671	Ph	0.07	0.01	0.06	0	0	0
<i>Heteropterys</i> sp.	2062	Ph	0	0	0	0.2	0.15	0.56
Malvaceae								
<i>Sida linifolia</i> Cav.	1896	Ch	0	0	0	0.03	0.01	0.03
Melastomataceae								
<i>Acisanthera variabilis</i> (Mart. & Schrank) Triana	1684	Ph	0	0	0.02	0	0	0
<i>Cambessedesia hilariana</i> (Kunth) DC.	1831	Ch	0	0	0	0.06	0.09	0.05
<i>Clidemia urceolata</i> DC.	2206	Ph	0	0	0	3.85	6.05	4.35
<i>Leandra aurea</i> (Cham.) Cogn.	1583	Ph	0	0	0.02	0	0	0
<i>Leandra australis</i> (Cham.) Cogn.	1709	Ph	0.84	0.42	1.48	1.63	0	0
<i>Leandra dendroides</i> (Naudin) Cogn.	2021	Ph	0	0.05	0.02	0	0	0
<i>Leandra foveolata</i> (DC.) Cogn.	1977	Ph	0	0	0	0	0.06	0
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana	1530	Ph	0	0	0	0.21	0.37	0.63
<i>Miconia corallina</i> Spring	1794	Ph	0	0	0.08	0	0	0.03
<i>Miconia ligustroides</i> (DC.) Naudin	1703	Ph	0	0	0.4	0	0	0.1
<i>Miconia stenostachya</i> DC.	1873	Ph	0	0	0	0.02	0.03	0.05
<i>Microlicia crenulata</i> (DC.) Mart.	1551	Ph	0	0.32	0	0	0	0
<i>Microlicia fulva</i> (Spreng.) Cham.	1964	Ph	0	0.02	0	0	0.11	0
<i>Microlicia graveolens</i> DC.	1883	Ph	0	0	0	0.2	0.29	0.04
<i>Tibouchina gardneriana</i> (Triana) Cogn.	1550	Ph	0.02	0.03	0.05	0	0	0
<i>Tibouchina heteromalla</i> (D.Don) Cogn.	1367	Ph	4.25	2.16	1.61	0.31	0.37	1.64
<i>Trembleya laniflora</i> (D.Don) Cogn.	1922	Ph	0	0	2.7	0.31	0.06	0.05
<i>Trembleya parviflora</i> (D. Don) Cogn.	1976	Ph	0	0	0	0	0.26	0.15
<i>Trembleya</i> sp.	1572	Ph	0	0	0.03	0	0	0
Myrsinaceae								
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.	1436	Ph	0	0	0	0	0.59	0.81
<i>Myrsine emarginella</i> Miq.	2166	Ph	0	0	0.1	0	0	0
<i>Myrsine gardneriana</i> A.DC.	1971	Ph	0	0	0	0	0.2	0.08
<i>Myrsine venosa</i> A.DC.	2051	Ph	0	0	0	0	0.5	0.1

Family / Species	Voucher	LF	Itabirite			Quartzite		
			ISG	IPG	IWS	QSG	QPG	QWS
Myrtaceae								
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg.	1683	Ph	0.2	0	0.12	0	0	0
<i>Calyptranthes cordata</i> O.Berg	1544	Ph	0	0.2	0.4	0	0	0
<i>Eugenia punicifolia</i> (Kunth) DC.	1778	Ph	0	0	0	0	0.19	0
<i>Myrcia amazonica</i> DC.	2075	Ph	0	0	0	0.06	0	1.95
<i>Myrcia eriocalyx</i> DC.	1789	Ph	0	0.22	0.23	0	0	0
<i>Myrcia multiflora</i> (Lam.) DC.	1531	Ph	0	0	0	0.1	0.32	1.09
<i>Myrcia mutabilis</i> (O.Berg) N.Silveira	1489	Ph	0.15	0	0	0	0	0
<i>Myrcia pulchra</i> (O.Berg) Kiaersk.	2254	Ph	0.36	1.5	1.85	0	0	0
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	1659	Ph	0.5	0.63	0.09	0.1	0.44	1.15
<i>Myrcia subavenia</i> (O.Berg.) N.Silveira	1649	Ph	0	0	0.08	0	0	0
<i>Myrcia venulosa</i> DC.	1869	Ph	0.5	0	1.55	0	0	0.03
<i>Myrciaria floribunda</i> (H.West ex Willd.) O.Berg	1850	Ph	0	0	0	0.3	0.22	0.1
<i>Myrciaria glanduliflora</i> (Kiaersk.) Mattos & D.Legrand	2076	Ph	0	0	0	0	0	0.26
Ochnaceae								
<i>Ouratea grandifolia</i> (Planch.) Engl.	2050	Ph	0	0	0	0	0	0.05
<i>Ouratea semiserrata</i> (Mart.& Nees) Engl.	1638	Ph	0	0.03	0.14	0	0	0
<i>Sauvagesia erecta</i> L.	1927	Ch	0	0	0	0	0.07	0.03
Orchidaceae								
<i>Acianthera teres</i> (Lindl.) Borba	1426	He	0.5	0.12	0.1	0.77	0.01	0.03
<i>Cleistes metallina</i> (Barb.Rodr.) Schltr.	2089	Cr	0	0	0	0	0	0.01
<i>Coppensia blanchetii</i> (Rchb.f.) Campacci	1810	He	0.05	0.04	0.05	0	0	0
<i>Cranichis candida</i> (Barb.Rodr.) Cogn.	2357	He	0	0	0	0	0	0.01
<i>Epidendrum martianum</i> Lindl.	1807	He	0.02	0.01	0.02	0	0	0.01
<i>Epidendrum secundum</i> Jacq.	1772	He	0.03	0.05	0.05	0.15	0.01	0.09
<i>Habenaria secundiflora</i> Barb.Rodr.	2091	Cr	0	0	0	0	0	0.01
<i>Hoffmannseggella caulescens</i> (Lindl.) H.G.Jones	1300	He	0.2	0.13	0.07	0	0	0
<i>Hoffmannseggella cinnabarina</i> (Batem. ex Lindl.) H.G.Jones	1301	He	0.07	0.04	0.05	0.61	0	0.03
<i>Hoffmannseggella crispata</i> (Thunb.) H.G.Jones	2131	He	0.16	0.04	0.04	0	0	0
<i>Nitidocidium gracile</i> (Lindl.) F.Barros & V.T.Rodrigues	1742	He	0.02	0.03	0.01	0	0	0
<i>Veyretia rupicola</i> (Garay) F.Barros	2137	Cr	0.01	0.04	0	0	0	0
Passifloraceae								
<i>Passiflora villosa</i> Vell.	1460	Li	0.01	0.02	0.01	0	0	0
Peraceae								
<i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp. ex Baill.	2049	Ph	0	0	0.5	0	0.39	1.75
Phyllanthaceae								
<i>Phyllanthus klotzschianus</i> Müll.Arg.	1373	Ch	0	0.01	0	0.17	0.03	0.04
<i>Phyllanthus roselus</i> (Müll.Arg.) Müll.Arg.	1375	Th	0	0	0	0.02	0	0.04
Phytolaccaceae								
<i>Microtea paniculata</i> Moq.	1511	Th	0.01	0.01	0.01	0	0	0
Poaceae								
<i>Andropogon bicornis</i> L.	2042	He	0	0	0	0	0.07	0.07
<i>Andropogon leucostachyus</i> Kunth	1588	He	0	0.02	0	0	0	0
<i>Andropogon selloanus</i> (Hack.) Hack.	1935	He	0	0	0	0.04	0.06	0.04
<i>Andropogon virgatus</i> Desv.	1947	He	0	0	0	0	0.05	0.03
<i>Apochloa poliophylla</i> (Renvoize & Zuloaga) Zuloaga & Morr	1566	He	5.67	5.66	3.02	1.9	0.08	0.94
<i>Aristida torta</i> (Nees) Kunth	1884	He	0	0	0	0.09	0.1	0.08
<i>Axonopus capillaris</i> (Lam.) Chase	1907	He	0	0	0	0.01	0.02	0
<i>Axonopus laxiflorus</i> (Trin.) Chase	1623	He	1.13	0.52	0.59	0.76	0.03	6.54
<i>Axonopus scoparius</i> (Flüggé) Kuhlm.	1445	He	0	0	0	0	0.01	0
<i>Axonopus siccus</i> (Nees) Kuhlm.	1852	He	0.5	1.54	0.21	0.26	0.14	0.08

Family / Species	Voucher	LF	Itabirite			Quartzite		
			ISG	IPG	IWS	QSG	QPG	QWS
<i>Dichanetium sciurotoides</i> (Zuloaga & Morrone) Davidse	2037	He	0	0	0	0	0	0.06
<i>Echinolaena inflexa</i> (Poir.) Chase	1863	He	0	0	0	2.41	11.9	9.1
<i>Eragrostis rufescens</i> Schrad. ex Schult.	1929	He	0	0	0	0	0.01	0
<i>Eragrostis solida</i> Nees	1892	He	0	0	0	0.01	0.02	0.03
<i>Ichnanthus bambusiflorus</i> (Trin.) Döll	1467	He	0.02	0.54	0.26	0	0	0.04
<i>Otachyrium versicolor</i> (Döll) Henrard	1949	He	0	0	0	0	0.07	0.12
<i>Panicum pseudisachne</i> Mez	1672	He	0.04	0.04	0.64	0.03	0.03	0.08
<i>Panicum wettsteinii</i> Hack.	1549	He	0	0.65	0.62	0.02	0	0
<i>Parodiophyllochloa penicillata</i> (Nees ex Trin.) Zuloaga & Morrone	2060	He	0	0	0	0	0	0.02
<i>Paspalum coryphaeum</i> Trin.	2084	He	0	0	0	0	0	0.01
<i>Paspalum hyalinum</i> Nees ex Trin.	1909	He	0	0	0	0	0.09	0
<i>Paspalum lineare</i> Trin.	1878	He	0	0	0	0.04	0.02	0.01
<i>Paspalum multicaule</i> Poir.	1897	He	0	0	0	0.01	0	0
<i>Paspalum pilosum</i> Lam.	1921	He	0	0	0	0.03	0.12	0.08
<i>Paspalum polyphyllum</i> Nees	1999	He	0	0	0	0.09	0.02	0.04
<i>Schizachyrium sanguineum</i> (Retz.) Alston	1961	He	0.25	0.35	0.02	0.02	0.07	0.02
<i>Schizachyrium tenerum</i> Nees	1916	He	1.29	0.61	0.23	0.05	0.01	0.16
<i>Sporobolus metallicolus</i> Longhi-Wagner & Boechat	1931	He	0	0	0	0	0.03	0.09
Polygalaceae								
<i>Polygala cuspidata</i> DC.	2041	Ch	0	0	0	0	0	0.01
<i>Polygala oleifolia</i> A.St.-Hil. & Moq.	1661	Ch	0	0	0.05	0	0	0
<i>Polygala galioides</i> Poir.	1887	Th	0	0	0	0.03	0.08	0.04
<i>Polygala paniculata</i> L.	1888	Th	0	0	0	0.03	0.06	0.03
Polygonaceae								
<i>Coccoloba acrostichoides</i> Cham.	1438	Ph	1.35	4.75	3.2	0	0.1	0.03
<i>Coccoloba scandens</i> Casar.	2011	Li	0	0	0	0	0.23	0.1
Polypodiaceae								
<i>Pleopeltis hirsutissima</i> (Raddi) de la Sota	1679	He	0	0	0.01	0	0	0
Pteridaceae								
<i>Doryopteris ornithopus</i> (Hook. & Baker) J.Sm.	1798	He	0.01	0.03	0.04	0.01	0	0
<i>Pellaea crenata</i> R.M.Tryon	1717	He	0	0	0.01	0	0	0
Rubiaceae								
<i>Alibertia rotunda</i> (Cham.) K.Schum.	1866	Ph	0	0.07	0.08	0.02	0	0.15
<i>Augusta longifolia</i> (Spreng.) Rehder	1574	Ph	0	0	0.01	0	0	0
<i>Borreria poaya</i> (A.St.-Hil.) DC.	1627	Ch	0	0	0	0	0	0.02
<i>Borreria</i> sp.	2086	Ch	0	0	0	0	0	0.01
<i>Coccocypselum condalia</i> Pers.	2094	Ch	0	0	0.05	0	0.01	0.06
<i>Declieuxia fruticosa</i> (Willd. ex Roem. & Schult.) Kuntze	1540	Ch	0.01	0.03	0	0	0	0
<i>Ferdinandusa</i> sp.	1690	Ph	0	0	0.01	0	0	0
<i>Mitracarpus hirtus</i> (L.) DC.	1904	Ph	0	0	0	0.01	0	0
<i>Palicourea</i> sp.	2266	Ph	0	0	0	0	0	0.02
<i>Psychotria hoffmannseggiana</i> (Willd. ex Schult.) Müll.Arg.	2048	Ph	0	0	0	0	0	0.08
<i>Psychotria pleiocephala</i> Müll.Arg.	2068	Ph	0	0	0	0	0	0.01
<i>Psychotria vellosiana</i> Benth.	1581	Ph	0	0	0.02	0	0	0.02
<i>Psyllocarpus laricoides</i> Mart. ex Mart. & Zucc.	1402	Ch	0.14	0.08	0.05	0.11	0	0.08
<i>Remijia ferruginea</i> (A.St.-Hil.) DC.	1385	Ph	0	0	0.05	0	0	0
Rutaceae								
<i>Dictyoloma vandellianum</i> A. Juss.	2103	Ph	0	0	0	0.08	0	0
Sapindaceae								
<i>Matayba marginata</i> Radlk.	1492	Ph	0.08	0	0	0	0	0

Family / Species	Voucher	LF	Itabirite			Quartzite		
			ISG	IPG	IWS	QSG	QPG	QWS
<i>Serjania gracilis</i> Radlk.	2036	Li	0	0	0	0	0	0.11
Selaginellaceae								
<i>Selaginella</i> sp.	2082	He	0	0.01	0	0	0	0.01
Siparunaceae								
<i>Siparuna poeppigii</i> (Tul.) A.DC.	2054	Ph	0	0	0	0	0	0.79
Smilacaceae								
<i>Smilax minarum</i> A.DC.	2020	Li	0	0	0	0.01	0	0
Solanaceae								
<i>Schwenckia americana</i> Rooyen ex L.	1776	Th	0	0	0	0.05	0.01	0.02
Styracaceae								
<i>Styrax maninul</i> B.Walln.	1811	Ph	0	0.03	0.08	0	0	0
Velloziaceae								
<i>Barbacenia flava</i> Mart. ex Schult. & Schult.f.	1881	He	0	0	0	0.08	0	0
<i>Vellozia compacta</i> Mart. ex Schult. & Schult.f.	1845	Ph	46	19	9.3	3.65	0	0.6
<i>Vellozia graminea</i> Pohl	1736	He	0.01	0.14	0.09	0	0	0
Verbenaceae								
<i>Lantana fucata</i> Lindl.	1480	Ph	0.02	0.04	0.04	0	0	0
<i>Lantana trifolia</i> L.	1557	Ph	0	0.02	0	0	0	0
<i>Lippia hermannioides</i> Cham.	1762	Ph	0.05	0.08	0	0	0	0
<i>Lippia origanoides</i> Kunth	1450	Ph	0.44	0.41	0	0	0	0
<i>Lippia rubiginosa</i> Schauer	1536	Ph	0.1	0.5	0.22	0	0	0
<i>Stachytarpheta glabra</i> Cham.	1945	Ph	0.71	0.23	0.31	0.97	0.07	0.14
Vochysiaceae								
<i>Callisthene major</i> Mart. & Zucc.	2067	Ph	0	0	0	0	0	0.08
<i>Vochysia emarginata</i> (Vahl) Poir	2149	Ph	0	0	0.28	0	0	0
Xyridaceae								
<i>Xyris melanopoda</i> L.B.Sm. & Downs	1951	He	0	0	0	0	0.04	0.01
<i>Xyris trachyphylla</i> Mart.	2087	He	0	0	0	0	0.02	0.01
<i>Xyris</i> sp.1	1966	He	0	0	0	0	0.02	0
<i>Xyris</i> sp.2	2090	He	0	0	0	0	0.04	0.01
<i>Xyris</i> sp.3	1622	He	0	0	0	0.08	0.08	0.09

Tabela 5.2. Comparison among the life-form spectra of quartzite and itabirite rocky outcrop sites. DF = Degrees of freedom, X^2 = Chi-square value.

Spectra	DF	X^2	P
Floristic vs. frequency	4	7.63	> 0.106
Floristic vs. vegetational	4	271.23	< 0.001
Frequency vs. vegetational	4	413.8	< 0.001
Floristic spectra among the different habitats	20	23.07	> 0.285
Frequency spectra among the different habitats	20	98.74	< 0.001
Vegetational spectra among the different habitats	20	152.46	< 0.001

Discussion

The most counted life-forms (phanerophyte and hemicryptophyte) were the same in all the biological spectra but with different patterns of variation. Phanerophytes, chamaephytes and hemicryptophytes are generally well represented in the biological spectra of Brazilian rocky outcrops: ferruginous (Jacobi et al. 2007, Jacobi & Carmo 2008, Mourão & Stehmann 2007),

quartzitic (Alves & Kolbek 2009, Conceição & Giulietti 2002, Conceição & Pirani 2005, Conceição et al. 2007a); granitic (Caiafa & Silva 2005); and nepheline-syenite (Ribeiro et al. 2007). A small proportion of therophytes was also found in the biological spectra of other rocky outcrop sites (Conceição & Pirani 2005, Jacobi et al. 2007, Meirelles et al. 1999, Ribeiro & Medina 2002, Ribeiro et al. 2007). Bazzaz & Morse (1991) related that therophytes are expected to become dominant where growing conditions are so adverse that the probability of survival until the second year becomes very small. However, unfavorable growing conditions for part of the year do not hinder the occurrence of perennials, as they favor selection by other strategies, such as dormant structures that enable species to survive in harsh conditions. Therophytes usually dominate in some of the driest and coldest environments of the world (Harrison et al. 2010). Environmental constraints in rocky outcrops might not have been extreme enough to favor the strategy of the therophytes. Ribeiro & Medina (2002) suggested that the lack of therophytes in rocky outcrops is due to the difficulty they have to complete their cycle in this harsh environment within the favorable season. According to Ribeiro et al. (2007), therophytes may be rare due to a combination of short growing seasons and low nutrient budgets on rock surfaces that preclude rapid establishment and growth. This is reinforced by the observation that after an extensive wildfire in a rocky outcrop site in Rio de Janeiro, many therophytes established and flowered in large numbers (Ribeiro 2002). According to this author, this was probably due to an input of usually limiting nutrients, mainly phosphorous, that triggered the germination, establishment and growth of annual species.

Some quartzite-sandstone rocky outcrops in *Chapada Diamantina* showed a higher proportion of chamaephytes than phanerophytes (Conceição & Giulietti 2002, Conceição et al. 2007a). However, the authors used the Raunkiaer system adapted by Mueller-Dombois & Ellenberg (1974), where the height separating chamaephytes and phanerophytes is 25 cm higher. In addition, the species height depends on the environmental conditions. One of the kinds of chamaephytes is the woody, erect subshrubs, with all the characteristics of phanerophytes, except size (Adamson 1939). Some species are facultative shrubs, that is, they are trees under more favorable conditions (Cain 1950). Porto & Silva (1989) pointed out that the high level of some toxic metals might cause dwarfness. It may explain how a species like *Tibouchina heteromalla*, usually present in *campos rupestres* surveys, varies from 0.3m to almost 2m tall.

The hemicryptophytes are mainly represented by grasses (e.g. *Apochloa poliophylla*, *Axonopus siccus*, *A. laxiflorus*, *Echinolaena inflexa* and *Schizachyrium tenerum*), sedges (e.g. *Lagenocarpus rigidus* and *Rhynchospora spp.*), Orchidaceae and Bromeliaceae species. The grasses and sedges occur in pools of soil, surrounded by bare rocks, or in the sandy, sharp soil in the quartzitic plateaus or valleys. Orchidaceae and Bromeliaceae are mainly epilithic species showing vegetative reproduction. Some species considered hemicryptophytes in this work e.g.

Epidendrum secundum and *Coppensia blanchetii* were considered chamaephytes by Conceição & Giuliatti (2002). Even though species can appear with different life-forms in different environments, Allan (1937) emphasized the lack of a sharp boundary between chamaephytes and hemicytrophites and Hagerup (1930) discussed the difficulty of categorizing many short-lived perennials. The environmental constraints resulting from drought and water logging might explain the high dominance of hemicytrophites in rocky outcrops. They are mainly from Liliopsida, having a fasciculate root system, occupying the superficial layer of the soil. Because the upper layer of the soil contains more organic matter, during the dry season, it has a higher water holding capacity, while on the other hand, during the rainy season, it has a greater oxygen level than the lower ones. It may explain the fact that in the quartzitic plateaus, with poor drainage, hemicytrophites are more dominant. Besides this, there are other anatomic adaptations favoring monocots in wetlands, as described by Visser et al. (2000).

The floristic spectrum shows more about richness in each life-form than the vegetational feature of each environment. There was no significant difference in the floristic spectra of the different studied habitats, where all the species had the same mean. However, the biological spectra exhibited differences when the species were weighted by a measure of frequency or coverage. It shows that the usefulness of biological spectra is enhanced by adding quantitative data concerning the species. The floristic and frequency spectra were not significantly different, but both differed statistically from the vegetational one. These results evidenced that the frequency evaluation did not add any significant value to the species list used to construct the biological spectra. Raunkiaer (1934) suggested frequency as a descriptor because of the difficulty of counting the individuals of some species. Even though frequency is a measure of abundance, it is influenced by the spatial distribution of individuals (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974) and its relationship with density is logarithmic (Greig-Smith 1983). Frequency is an accurate estimation of density only if there is a random spatial distribution of the individuals, which is not common for plant species, being biased for rare or very common species or for those with clumped distribution (Greig-Smith 1983). According to this author, the advantage of frequency assessment is simply the facility and quickness with which it is obtained. Since density is difficult to obtain in field work for herbaceous communities, some authors have used coverage (Conceição & Giuliatti 2002, Conceição & Pirani 2005, 2007, Conceição et al. 2007a, b, Wikum & Shanholtzer 1978). According to Cain (1950), coverage data seems perhaps the most useful, since it is more independent of sample-plot size than are density and frequency. Another advantage of cover as a quantitative measure is that nearly all plant life-forms, from trees to mosses, can be evaluated by the same parameter and thereby in comparable terms (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974). Moreover, this evaluation requires only one third to one fifth of the time used for field work (Wikum & Shanholtzer 1978), compared with density methods.

Thus, the vegetational spectrum, where the species were weighted by coverage, was quite distinct from the floristic one and provided a more accurate description of the vegetational physiognomy. The proportion of phanerophytes and hemicryptophytes was greater than the other life-forms, which were very reduced when weighted by their dominance. Since the individual biomass is greater for the phanerophyte species, they were more important in the vegetational spectrum. The hemicryptophytes, which usually have vegetative reproduction, showed more individuals forming dense mats. So, the most important contribution to the coverage is given by density. The greater dominance of phanerophytes in itabirite may be explained by the higher occurrence of narrow vertical fissures in the rocks that permit the rooting of taller species and also by the higher level of some nutrients (Vincent & Meguro 2008). In addition, the higher dominance of *Vellozia compacta* (a phanerophyte which showed the highest coverage among all the species) in ferruginous *campos rupestres*, may be associated with tolerance to high levels of heavy metals and drought (Jacobi et al. 2007). These conditions are usually present in the sharp-rock soils as described by Conceição et al. (2007a), Jacobi et al. (2007), Meguro et al. (1977), Meirelles et al. (1997) and Owoseye & Sanford (1972) and are still harsher in ferruginous soils. This species only grows among rock outcrops, which occur in higher proportion in ferruginous *campos rupestres*, and is absent in quartzite plateaus where bare rocks are rare. Alves & Kolbek (2010) related that mechanically unstable sandy soils, like those found in the quartzitic plateaus, can be unavailable for the longevous, shrubby species of *Vellozia*.

Quartzitic and ferruginous rocky outcrops have similar floristic but quite different vegetational spectra. The greatest difference between the two lithologies was found in the plateau habitats. The greatest dominance of hemicryptophytes covering the sharp, sandy soil was found in the quartzitic plateaus, while in the itabirite plateaus (IPG), the spectrum presented the smallest occurrence of hemicryptophytes among the grasslands. Viana & Lombardi (2007) also mentioned a lesser occurrence of Poaceae in this kind of environment compared to other kinds of ferruginous rocky outcrops. Phanerophytic shrubs with sclerophyll leaves, common in areas with outcrops like IPG, can extract water from dry soils at low water potential and are typically long-lived. Their high construction costs are amortized over a number of years, but their photosynthetic capacity is low because of internal shading within the leaves and/or high mesophyll resistance to CO₂ diffusion (Lloyd et al. 1992). This feature means that sclerophylls can dominate in some dry environments, such as the grasslands with outcrops, but do not compete effectively in wetter ones like the QPG.

The woody savannas, in both lithologies, have a greater dominance of phanerophytes and lesser dominance of hemicryptophytes when compared with the grasslands, which is probably due to the thicker soil that favors the establishment of shrubs or small trees. On the other hand, the lesser dominance of hemicryptophytes may be explained by the high competitiveness of the

phanerophyte species. In itabirite areas, both kinds of grassland presented differences when compared to the woody savannas (IWS). The vegetational spectrum in QSG did not show the same pattern and is not statistically different from QWS. However, the most dominant phanerophytes (sensu Ellenberg & Muller-Dombois 1967) in grasslands are nanophanerophytes, mainly represented by *Vellozia compacta*, while in QWS, more microphanerophytes were found, varying from 0.7 to 3m, with shrubs of different specimens of Myrtaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae, Lauraceae, Annonaceae, Siparunaceae and others.

The vegetational spectrum would be applied when the aim of the research is the ecological knowledge of the vegetation, rather than the flora of a given site. Cain (1950) suggested that some measure of the relative dominance of each species in the community would provide the most significant data. The vegetational spectra found in these sites fit between phanerophytic and hemicryptophyte. According to Raunkiaer (1934), a phanerophytic climate is typical of the warm humid tropics, while the hemicryptophytic phytoclimate corresponds to a cold-humid climate, typical of high latitudes or high altitudes. The applicability of Raunkiaer's system for tropical communities has been criticized by Sarmiento & Monasterio (1983) because its assumption that the constraint on plant growth is low winter temperatures, which is clearly not a significant issue in these communities. Batalha & Martins (2002) discussed the value of the phytoclimate concept when applied to *cerrado* vegetation, suggesting that water stress, water logging, fire, oligotrophism or aluminum toxicity can be similar to low winter temperatures. Thus, the use of Raunkiaer's system is not only possible, but recommended, when investigating factors, other than climate, that shape the vegetational physiognomy.

The biological spectra of the Brazilian rock outcrop vegetation seem to be somewhat consistent, with phanerophytes and/or chamaephytes and hemicryptophytes always being the most represented classes and with a lack of therophytes. The rather distinct individual differences can be also correlated, in very general terms, with the characteristics of the flora in surrounding areas (Adamson 1939); being the southern portion of Espinhaço Range influenced by the *Cerrado* and the northern one by the *Caatinga* (Viana & Filgueiras 2008). These differences can also be due to the different life-form classification systems used or the plasticity of the height of most species.

Although limited to a small rocky outcrop site, this study did not corroborate Raunkiaer's statement that the frequency spectrum is a good assessment of life-form distribution in plant communities. In addition, the frequency spectrum was not significantly different from the floristic one. Thus, for these reasons the frequency spectrum is not suggested in studies of rocky outcrop sites. Similarly to that described by Batalha & Martins (2004) for *cerrado* sites, the floristic spectrum is suggested, if working in sufficiently large areas because it could provide an indication of the prevailing phytoclimate. On the other hand, the vegetational spectrum is recommended for small-area analysis, because it provides a detailed description of the physiognomy related with

ecological factors. This data analysis supports the suitability of the use of coverage to solve the difficulty of counting individuals in order to construct the vegetational spectra in rocky outcrop sites.

Since there are different vegetational spectra in the different habitats in ferruginous rocky outcrops, this feature must be considered in the rehabilitation of mining areas. One of the most recent reclamation practices is a topographic reconstruction of mined-out pits, using overburden and spoil material (Griffith & Toy 2001). Even though this improves the aesthetic view, it could inhibit the reestablishment of the microhabitats described by Jacobi et al. (2007) in ferruginous rocky outcrops. In addition, revegetation projects using a “green carpet” approach, mainly with fast-growing grasses, could give rise to changes in the structure of the vegetation, through hemicryptophyte competitiveness, inhibiting the reestablishment of the natural proportion of life-form groups. Within long-term reclamation project, it is important to consider the life-form proportions as well as the successional dynamics of the community in order to have an efficient restoration of the environmental services of these areas.

Conclusion

Not only lithology but other aspects of the environment, like geomorphology, influence the distribution of plant life-forms in rocky outcrop habitats. This makes the definition “High Altitude Rupestrian Complex” (Semir 1991, Benites et al. 2003) more appropriate as a phytogeographic description of the rocky outcrop of the Espinhaço Range. Phanerophytes and hemicryptophytes were the life-forms with a higher coverage in the studied areas. The ferruginous *campos rupestres* have higher phanerophyte and lower hemicryptophyte coverages than the quartzite ones. The lower and/or concave parts of the slopes have a greater phanerophyte and a lesser hemicryptophyte dominance than the two other geomorphologic habitats with grasslands. The floristic and frequency spectra did not differ from each other, but both differed from the vegetational one. The vegetational spectrum was more efficient for the studied rocky outcrop comparison. This study will support the development of restoration projects of *campos rupestres* by improving the knowledge of flora composition, structure and function.²

²**Acknowledgments** - We would like to thank to SAMARCO S.A. for permitting this research, FAPEMIG, for the financial support CRA - APQ-00601-08, Jorge L. Silva, Auria Tonaco and Eduardo Ataíde for field assistance and also the taxonomists for species identifications: C. Kameyama (Acanthaceae); A. Lobão (Annonaceae); A. Rapini (Apocynaceae); M. Nadruz (Araceae); A.M. Teles (Asteraceae); R.S. Araujo (Bignoniaceae); R. Forzza (Bromeliaceae); M. Kirizawa (Dioscoreaceae), M.Trovó and P. Sano (Eriocaulaceae); M.I.B. Loyolla (Erythroxylaceae); I. Cordeiro (Euphorbiaceae, Phyllanthaceae and Gentianaceae); A.O. Araujo (Gesneriaceae); A. Quinet (Lauraceae); P.C.B. Souza (Lentibulariaceae); E. Miranda (Loganiaceae); V.F. Dutra (Leguminosae); C.H.R. Paula (Loranthaceae); T.B. Cavalcanti (Lythraceae); M. Bovini (Malvaceae); R. Romero and J. Baungratz (Melastomataceae); M.F. Freitas (Myrsinaceae); M. Sobral (Myrtaceae). C. Van den Berg and J.A.N.Batista (Orchidaceae); L. Bernacci (Passifloraceae); M.S. Marchioretto (Phytollacaceae); A.L. Peixoto (Siparunaceae); J.F. Pastore (Polygalaceae); W. Marcondes-Ferreira (Polygonaceae); P.L. Viana (Poaceae); L.C.N. Melo and J.E.Casarino (Pteridophyta); M.S.Ferrucci (Sapindaceae); J.R. Stehmann

References

- ADAMSON, R.S. 1939. The classification of life-forms of plants. *Bot. Rev.* 5(10): 546-561.
- ALLAN, H.H. 1937. A consideration of the “biological spectra” of New Zealand. *J. Ecol.* 25(1): 116-152.
- 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. Vegetation strategy of *Vellozia crinita* (Velloziaceae). *Biologia* 65(2): 254-264.
- APG (Angiosperm Phylogeny Group) 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Bot. J. Linn. Soc.* 161(2): 105-121.
- BATALHA, M.A. & MARTINS, F.R. 2002. Biological spectra of cerrado sites. *Flora* 197(6): 452-460.
- BATALHA, M.A. & MARTINS, F.R. 2004. Floristic, frequency and vegetation life-form spectra of a cerrado site. *Braz. J. Biol.* 64(2): 203-209.
- BAZZAZ, F.A. & MORSE, S.R. 1991. Annual plants: potential responses to multiple stresses. In *Response of plants to multiple stresses* (H.A. Mooney, W.E. Winner & E.J. Pel, eds.). Academic Press London, p.283-305.
- BEGON, M., HARPER, J.L. & TOWNSEND, C.R. 1996. *Ecology: individuals, populations and communities*. 3 ed. Blackwell, Oxford.
- BENITES, V.M., CAIAFA, A.N., MENDONÇA, E.S., SCHAEFER, C.E., KER, J.C. 2003. Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. *Floresta Ambient.* 10(1): 76-85.
- BENITES, V.M., SCHAEFER, C.E.G.R., SIMAS, F.N.B. & SANTOS, H.G. 2007. Soil associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. *Rev. Bras. Bot.* 30(4): 569-577.
- CAIAFA, N.A. & 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.

(Solanaceae); R. Andreata (Smilacaceae); F.O.Souza-Buturi (Styracaceae), M.F. Salimena (Verbenaceae); R. Mello-Silva (Velloziaceae).

- CAIN, S.A. 1950. Life-forms and phytoclimate. *Bot. Rev.* 16(1): 1-32.
- 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(1): 37-48.
- CONCEIÇÃO, A.A. & PIRANI, J.R. 2005. Delimitação de habitats em campos rupestres na Chapada Diamantina, Bahia: substratos, composição florística e aspectos estruturais. *Bol. Bot.* 23(1): 85-111.
- CONCEIÇÃO, A.A. & PIRANI, J.R. 2007. Diversidade em quatro áreas de campos rupestres na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil: espécies distintas, mas riquezas similares. *Rodriguésia* 58(1): 193-206.
- CONCEIÇÃO, A.A., GIULIETTI, A.M. & MEIRELLES, S.T. 2007a. Ilhas de vegetação em afloramentos de quartzito-arenito no Morro do Pai Inácio, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. *Acta Bot. Bras.* 21(2): 335-347.
- CONCEIÇÃO, A.A., PIRANI, J.R. & MEIRELLES, S.T. 2007b. Floristics, structure and soil of insular vegetation in four quartzite-sandstone outcrops of “Chapada Diamantina”, Northeast Brazil. *Rev. Bras. Bot.* 30(4): 641-656.
- ELLENBERG, H. & MUELLER-DOMBOIS, D. 1967. A key to Raunkiaer plant life forms with revised subdivisions. *Ber. Geobot. Inst. ETH Stiftg. Rübel* 37: 56-73.
- GAFF, D.F. 1977. Desiccation tolerance vascular plants of Southern Africa. *Oecologia* 31(1): 95-109.
- GAFF, D.F. 1987. Desiccation tolerant plants in South America. *Oecologia* 74(1): 133-136.
- GIULIETTI, A.M. & PIRANI, J.R. 1988. Patterns of geographic distribution of some plant species from the Espinhaço Range, Minas Gerais and Bahia, Brazil. In *Proceedings of a workshop on Neotropical Distribution Patterns* (P.E. Vanzolini & W.R. Heyer, eds.). Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, p.39-69.
- GREIG-SMITH, P. 1983. *Quantitative plant ecology*. 3 ed. Blackwell, Oxford.
- GRIFFITH, J. & TOY, T.J. 2001. Evolution in revegetation of iron-ore mines in Minas Gerais State, Brazil. *Unasylva* 52(1): 9-15.
- HAGERUP, O. 1930. Étude des types biologiques de Raunkiaer dans la flore autour de Tombouctou. *K. Dan. Vidensk. Selsk. Skr.* 9(4): 1-116.
- HARLEY, R.M. & SIMMONS, N.A. 1986. *Florula of Mucugê, Chapada Diamantina, Bahia, Brazil*. Royal Botanic Gardens, Kew.

- HARRISON, S.P., PRENTICE, I.C., BARBONI, D., KOHFELD, K.E., NI, J. & SUTRA, J.P. 2010. Ecophysiological and bioclimatic foundations for a global plant functional classification. *J. Veg. Sci.* 21(2): 300–317.
- JACOBI, C.M., CARMO, F.F., VINCENT, R.C. & STEHMANN, J.R. 2007. Plant communities on ironstone outcrops - a diverse and endangered Brazilian ecosystem. *Biodivers. Conserv.* 16(7): 2185-2200.
- JACOBI, C.M. & CARMO, F.F. 2008. Diversidade dos campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, MG. *Megadiversidade* 4(1-2): 24-32.
- LOMOLINO, M.V., RIDDLE, B.R. & BROWN, J.H. 2005. **Biogeography**. 3 ed. Sinauer Associate Inc., Sunderland.
- LLOYD, J., SYVERTSEN, J.P., KRIEDEMANN, P.E. & FARQUHAR, G.D. 1992. Low conductances for CO₂ diffusion from stomata to the sites of carboxylation in leaves of woody species. *Plant Cell Environ.* 15(8): 873–899.
- MEGURO, M., JOLY, C.A. & BITTENCOURT, M.M. 1977. Stress hídrico e alguns aspectos do comportamento fisiológico em *Xerophyta plicata* Spreng. - Velloziaceae. *Bol. Bot.*: 5(1): 27-42.
- MEGURO, M., PIRANI, J.R., GIULIETTI, A.M. & MELLO-SILVA, R. 1994. Phytophysiology and composition of the vegetation of Serra do Ambrósio, Minas Gerais, Brazil. *Rev. Bras. Bot.* 17(2): 149-166.
- MEIRELLES, S.T., MATTOS, E.A. & SILVA, A.C. 1997. Potential desiccation tolerant vascular plants from Southeastern Brazil. *Pol. J. Environ. Stud.* 6(4): 17-21.
- MEIRELLES, S.T., PIVELLO, V.R. & JOLY, C.A. 1999. The vegetation of granite rock outcrops in Rio de Janeiro, Brazil, and the need for its protection. *Environ. Conserv.* 26(1): 10-20.
- MERA, A.G., HAGEN, M.A. & ORELLANA, J.A.V. 1999. Aerophyte, a new life form in Raunkiaer's classification? *J. Veg. Sci.* 10(1): 65-68.
- 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.
- MUELLER-DOMBOIS, D. & ELLENBERG, H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. 2 ed. John Wiley & Sons, New York.
- MYERS, N. 1988. Threatened biotas: 'Hotspots' in tropical forests. *The Environmentalist* 8: 187-208.
- NIMER, E. 1989. Climatologia do Brasil. 2 ed. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro.

OWOSEYE, J.A. & SANFORD, W.W. 1972. An ecological study of *Vellozia schnitzleinia*, a drought-enduring plant of northern Nigeria. J. Ecol. 60(3): 807-817.

POREMBSKI, S. & BARTHLOTT, W. 2000. Granitic and gneissic outcrops (inselbergs) as centers of diversity for desiccation-tolerant vascular plants. Plant Ecol. 151(1): 19-28.

POREMBSKI, S., BARTHLOTT, W., DÖRRSTOCK, S. & BIEDINGER, N. 1994 Vegetation of rock outcrops in Guinea: granite inselbergs, sandstone table mountains and ferricretes - remarks on species numbers and endemism. Flora 189(4): 315-326.

POREMBSKI, S., MARTINELLI, G., OHLEMÜLLER, R. & BARTHLOTT, W. 1998. Diversity and ecology of saxicolous vegetation mats on inselbergs in the Brazilian Atlantic rainforest. Divers. Distrib. 4(3): 107-119.

PORTO, M.L. & SILVA, M.F.F. 1989. Tipos de vegetação metalófila em áreas da Serra de Carajás e de Minas Gerais. Acta Bot. Bras. 3(1): 13-21.

QUEIROZ, L.P., SENA, T.S.N. & COSTA, M.J.S.L. 1996. Flora vascular da Serra da Jibóia, Santa Terezinha, Bahia. I: O campo rupestre. Sitientibus 15(1): 27-40.

RAUNKIAER, C. 1934. The life forms of plants and statistical geography. Clarendon Press, Oxford.

RIBEIRO, K.T. 2002. Estrutura, dinâmica e funcionalidade em comunidades rupícolas no Planalto do Itatiaia. Ph.D. thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

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): 1-84.

RIBEIRO, K.T., MEDINA, B.M.O. & SCARANO, F.R. 2007. Composição de espécies e relações biogeográficas da flora sobre afloramentos rochosos no Planalto do Itatiaia, SE do Brasil. Rev. Bras. Bot. 30(4): 623-639.

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

SARMIENTO, G. & MONASTERIO, M. 1983. Life forms and phenology. In Ecosystems of the world: tropical savannas (F. Bourlière, ed.). Elsevier, Amsterdam, p.79-108.

SEMIR, J. 1991. Revisão taxonômica de *Lychnophora* Mart. (Vernoniaeae: Compositae). Ph.D. thesis, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SILVA, M.F.F. 1991. Análise florística da vegetação que cresce sobre canga hematítica em Carajás - Pará (Brasil). Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi, Bot. 7(1): 79-105.

VIANA, P.L. & FILGUEIRAS, T.S. 2008. Inventário e distribuição geográfica das gramíneas (Poaceae) na Cadeia do Espinhaço, Brasil. *Megadiversidade* 4(1-2): 99-116.

VIANA, P.L. & LOMBARDI, J.A. 2007. Florística e caracterização dos campos rupestres sobre canga na Serra da Calçada, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia* 58(1): 159-177.

VINCENT, R.C. 2004. Florística, fitossociologia e relações entre a vegetação e o solo em áreas de campos ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Ph.D. thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo.

VINCENT, R.C. & MEGURO, M.M. 2008. Influence of soil properties on the abundance of plants species in ferruginous rocky soils vegetation, southeastern Brazil. *Rev. Bras. Bot.* 31(3): 377-388.

VISSER, E.J.W., COLMER, T.D., BLOM, C.W.P.M. & VOESENEK, C.J. 2000. Changes in growth, porosity and radical oxygen loss from adventitious roots of selected mono- and dicotyledonous wetland species with contrasting types of aerenchyma. *Plant Cell Environ.* 23(11): 1237-1245.

WESTHOFF, V. & MAAREL, E. 1978. The Braun-Blanquet approach. In *Classification of plant communities* (R.H. Whittaker, ed.). Dr. W. Junk, Netherlands, p.289-374.

WIKUM, D. & SHANHOLTZER, G. 1978. Application of the Braun-Blanquet cover-abundance scale for vegetation analysis in land development studies. *Environ. Manage.* 2(4): 323-329.

ZAR, J.H. 1999. *Biostatistical analysis*. 4 ed. Prentice Hall, New Jersey.

CAPÍTULO 6

SOIL-VEGETATION RELATIONSHIP IN QUARTZITIC AND FERRUGINOUS BRAZILIAN ROCKY OUTCROPS *

Maria Cristina Teixeira Braga Messias^{1,4}; Mariangela Garcia Praça Leite²; João Augusto Alves Meira-Neto³; Alessandra Rodrigues Kozovits¹; Ricardo Tavares⁴

¹Departamento de Biodiversidade Evolução e Meio Ambiente; ² Departamento de Geologia; ⁴ Departamento de Matemática, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil; ³ Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa. *Corresponding author.

*³ Artigo submetido à Folia Geobotanica em 30/11/2010.

Corresponding author address:

Departamento de Biodiversidade, Evolução e Meio Ambiente (DEBIO)

Universidade Federal de Ouro Preto. Campus Universitário.

35400-000 - Ouro Preto – Minas Gerais - Brazil

Telephone: +55 (31) 3559-1706

Fax: +55 (31) 3559-1660

E-mail: cristina@iceb.ufop.br

Short running title: Soil-vegetation relationship in rocky outcrops

ABSTRACT

Campo rupestre is a kind of Brazilian rocky outcrop with high biodiversity and many endemic and threatened species. It occurs mainly in the *Espinhaço* Range in a contact region between *Cerrado* and/or *Caatinga* and Atlantic Forest. The *Espinhaço* Range is recognized as a region with one of the highest floristic diversity in South America and with many endemic species, most of which are associated with rocky outcrop environments. These, among other peculiarities, recently granted the *Espinhaço* Range the status of Biosphere Reserve. The soil x vegetation relationship in *campo rupestre* areas with quartzite and itabirite rocks was studied. Three habitats in both lithologies were defined as: 1. Grasslands on slopes; 2. Grasslands in flat areas and 3.

Woody savannas. In each lithology, 30 plots (10x10m), 10 in each habitat, were defined. The species and their respective coverage were recorded and soil was sampled to perform chemical and physical analyses. The analyzed soils were sandy, acidic and presented low fertility and high levels of metallic cations. Nevertheless, they exhibited differences in chemical and physical properties. There were found 263 species, belonging to 64 families. The canonical correspondence analysis of soil variables and species coverage showed a clear segregation of lithological sites due mainly to the exchangeable content of Ca, Cu, Mg, Mn and S; soil particle size - central tendency and sorting; and the percentage of silt, fine soil and bare rocks. A strong correlation between plant species coverage and soil properties was also found.

Key words – ferruginous *campos rupestres*, metalliferous soil, plant-soil relationships, rocky outcrop vegetation

INTRODUCTION

Mountain areas are recognized centers of endemism and diversity, particularly in the tropics (Sarmiento 2002). *Campo rupestre* is a kind of Brazilian montane savanna which occurs mainly in the *Espinhaço* Range in a contact region between *Cerrado* and/or *Caatinga* and Atlantic Forest. The *Espinhaço* Range is recognized as a region with one of the highest floristic diversity in South America, which has more than 30 % of Brazil's endemic species, most of which are associated with rocky outcrop environments (Giulietti *et al.* 1997). These, among other peculiarities, recently granted the *Espinhaço* Range the status of Biosphere Reserve (UNESCO 2005). *Campo rupestre*, according to Harley and Simmons (1986), is the expression that defines the Brazilian rocky outcrop growing on quartzite-sandstone substrate; although this terminology is used to refer to similar phytophysionomies on other kinds of rocky substrate such as, granitic-gneiss (Queiroz *et al.* 1996) or itabirite (Jacobi and Carmo 2008; Mourão and Stehmann 2007; Viana and Lombardi 2007). In the *Quadrilátero Ferrífero*, Southeastern Brazil, the *campos rupestres* occur frequently in itabirite rock areas, part of which have duricrusts, developed by lateritic chemical weathering of itabirite, known as *cangas*. *Quadrilátero Ferrífero* is an area rich in economically valuable ore bodies, mainly iron ore, subjected to irrecoverable degradation by opencast mining (Jacobi *et al.* 2007).

Even though many authors suggest that the flora in *campos rupestres* depends on the characteristics of the soil, there is still little known about that. Only one study correlating soil properties with species abundance in *campos rupestres* was found, but in a restricted area with few types of habitat (ferruginous woody savannas and quartzitic grasslands). According to this study (Vincent and Meguro 2008) there was a strong correlation between plant species abundance and soil properties, where the species distribution was determined mainly by nutrients and heavy

metal contents, especially Cu, Zn and Pb. All the other researches in *campos rupestres* with regard to vegetation and soil properties correlated soil variables and diversity indexes, families or life-forms richness. Conceição and Giulietti (2002) found more phanerophytes in habitats with more bare rocks than in plateaus with continuous sandy soils, where the hemicryptophytes from the Poaceae family were dominant. According to these authors, the richness of species was greater in areas with more fertility. Conceição and Pirani (2005) found different soil and vegetation characteristics between two sites and also among different habitats in quartzite-sandstone rocky outcrops, but did not analyze the correspondence between environmental and vegetation data. Conceição *et al.* (2007), also working in quartzite-sandstone rocky outcrops in *Chapada Diamantina*, found a higher richness of vascular species in areas with greater base saturation, P and silt, and with a lower level of Al. On the other hand, the poorest biodiversity was found in sites with the lowest cation exchange capability (CEC), pH, percentage of silt, clay and organic matter, and a higher level of Al. Rizzini (1997) described the Brazilian ferruginous grasslands as being less diverse than the other kind of *campos limpos*. Vincent (2004) found a greater species richness in itabirite areas with fragmented duricrusts (*canga nodular*) and lower richness in itabirite showing indurated crusts (*canga couraçada*) in relation to a quartzite rocky outcrop. Viana and Lombardi (2007) also observed a lower occurrence of Poaceae in *canga couraçada* habitats, a fact that was also described by Rizzini (1997). The greater level of some metals and the harshness of the environment in ferruginous *campos rupestres* were pointed out as the reason for the lower richness of these areas (Jacobi *et al.* 2007; Jacobi and Carmo 2008). Nevertheless, many species show adaptations to live in these kinds of environment by tolerating high levels of metals, seasonal waterlogging, seasonal water scarcity, a low nutrient level and low pH. It is remarkable how some species grow in these environments without exhibiting any symptoms of nutrient deficiency, common in the cultivated species. Many authors agree that every *campo rupestre* soil is poor in nutrients, has a low cation exchange capacity, and a high level of toxic elements, especially Al in quartzitic and Fe in ferruginous rocks (Benites *et al.* 2003; Conceição *et al.* 2007). Besides that, some physical properties of the soil also limit the development of plants, i.e., the soils are sandy and shallow, many times constituted of small pools surrounded by bare rock outcrops. Since the soils are very sandy, they exhibit a low field capacity, where the living species are adapted to drought. However, depending on the topography and rock characteristics, the soils, especially in the plateaus, can also exhibit poor drainage, forming rock pools or ephemeral small ponds (Jacobi *et al.* 2007) where the species shows adaptations to waterlogging as described by Conceição *et al.* (2007) and Sousa (1997).

By comparing the different soil analyses in different rocky outcrop sites (Benites *et al.* 2005; Benites *et al.* 2007; Conceição and Giulietti 2002; Conceição *et al.* 2007; Fernandes *et al.* 2007; Gonçalves-Alvim and Fernandes 2001; Meguro *et al.* 1994; Negreiros *et al.* 2008; Oliveira

et al. 2009; Oliveira Junior *et al.* 2006; Teixeira and Lemos-Filho 2002; Vincent and Meguro 2008; Vitta 1995) remarkable differences were found in physical and chemical soil properties for both quartzite and ferruginous soils, suggesting the necessity of more research to clarify the relationship of vegetation and soil properties. Mining activities in ferruginous rocky outcrops have caused great destruction to this still poorly known ecosystem, suppressing plant species or populations that evolved in such a particular environment (Drummond *et al.* 2005). Soil-vegetation relationship studies are fundamental to establish strategies of conservation, mainly in the establishment of criteria for the fragment conservation of these areas and also to support reclamation projects. The aim of this research was to answer the following questions: Are the soil variables different in the different lithological and stratified geomorphological habitats? If so, what soil variables are related to the flora in these habitats?

METHODS

Study site

This study was carried out in the Municipalities of Ouro Preto, (itabirite plots) at 20°10'S and 43°31'W and Mariana (quartzite plots), at 20°13'S and 43°24'W, Minas Gerais State, southeastern Brazil, varying from 890 to 1250 meters above sea level. This area belongs to Samarco Mineração S.A. and is part of the *Serra de Ouro Preto*, South of *Espinhaço* Range, part of the *Alegria* synclinal. The ferruginous rocks belong to the *Cauê* Formation, of the *Itabira* Group and *Minas* Supergroup, while the quartzite belongs to the *Maquiné* Group, *Rio das Velhas* Supergroup (Dorr 1969). The climate according to Köppen is Cwb, i.e. mesothermic, with a rainy summer concentrated during November-March and a dry winter (Nimer 1989). The annual mean rainfall is 1250mm and the annual mean temperature is around 20°C. According to the Brazilian Soil Classification System (EMBRAPA 1999), the soil in these areas was classified as *Neossolos litólicos*, which corresponds to the Entisol order of the US Soil Taxonomy (USDA 1998) and to the Leptosols of the FAO soil classification system (FAO 1998).

The *campos rupestres* areas, with different kinds of rock (itabirite and quartzite), were stratified in three different habitats, defined as: 1.Grasslands (*campos limpos*) in sloped areas with bare rocks, near the mountain summit; 2.Grasslands (*campos limpos*) on the plateaus, in the middle of the slope, with no more than 10% slope inclination; 3.Woody savannas (*campos sujos*) in the lower and/or concave parts of the slopes, in valleys or depressions. In each lithology, thirty 10x10m plots, ten in each habitat, were defined. The grasslands in the sloped areas, established on itabirite (ISG), showed bare rocks with patterns similar to banded iron formations (BIFs); typical of raw itabirite. The grasslands on the plateaus (IPG) showed duricrusts, developed by the lateritic chemical weathering of itabirite; known locally as *cangas couraçadas*. The woody savannas on itabirite (IWS) also had *cangas* partially covered by colluvial soil. The sloped grassland areas on

quartzite (QSG) showed a great amount of smooth bare rocks, with shallow soil occupying gaps between the rocks, or forming small pools in rock depressions. The grassland plateaus in the quartzitic areas (QPG) were comprised of a sandy shallow and continuous soil with almost no bare rocks. The *woody savannas* on quartzite (QWS) presented sandy and colluvial soil, with occasional bare rocks.

Soil analyses

Soil samples were collected in the mid-rainy season. In each plot, three samples (0-10 cm deep) were randomly collected and mixed for chemical and granulometric analyses. Air dried soil samples were sieved (2.0 mm) and analyzed for total organic matter (OM), remnant phosphorus (Pr) and exchangeable content of Al, K, Ca, Mg, N, P, S, Zn, Cu, Fe and Mn; the sum of bases (SB) is represented as the sum of exchangeable Ca, Mg, and K; the effective cation exchange capacity (CEC) was determined based on SB; the base saturation (V%) was calculated as a percentage SB of the total CEC; and the aluminum saturation (m) was calculated based on effective cation exchange capacity. The pH in H₂O and the potential acidity (H+Al) were also determined. Soil analyses followed the procedures described by EMBRAPA (1997).

Soil water content (SW) was determined by the gravimetric method. The criterion for a dry soil was the soil sample dried to constant weight in an oven at a temperature between 100-110°C (EMBRAPA 1997).

A granulometric analysis was carried out with air dried soil according to EMBRAPA (1997) to determine the percentages of pebbles (20-200mm), gravels (2-20mm) and fine dried soil (FDS). The percentage of coarse sand (0.2- 2mm), fine sand (0.05-0.2mm), silt (0.002-0.05mm) and clay (< 0.002mm) were determined as a proportion of the fine soil fraction. The cumulative particle-size distribution was plotted in phi (Φ) scale (Folk 1980), using the expression $\Phi_d = -\log_2 d$, where d is the grain diameter in millimeters of the particle corresponding to a given percentile. The central tendency (Mz) and sorting as a dispersion measure (σ_1) were calculated according to Folk and Ward (1957), using the following expressions:

$$M_z = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}) / 3$$

$$\sigma_1 = (\Phi_{84} - \Phi_{16}) / 4 + (\Phi_{95} - \Phi_5) / 6.6$$

The obtained Mz and σ_1 values were classified according to Suguio (1973)

The percentage of the vertical projection area occupied by bare rocks in each plot (BR) was also estimated.

Vegetation data

The survey was carried out from September/2007 to February/2009 by weekly field trips. All the vascular species were collected, identified and grouped according to the Angiosperm Phylogeny Group (APG 2009). The cover area (%) of each species was estimated as a measure of dominance (Mueller-Dombois and Ellenberg 1974), by the vertical projection of the aerial parts of each species as a percentage of the total area of the plot (Westhoff and Maarel 1978). All the collected specimens were herborized and deposited in the Herbarium “Professor José Badini” (OUPR) of the Universidade Federal de Ouro Preto.

Statistical analyses

All the variables were initially submitted to the Kolmogorov-Smirnov test for normality and the Bartlett test for homogeneity of variances (Zar 1999). Since the data did not show normal distribution, even after transformation attempts, they were analyzed with the Kruskal-Wallis and Tukey HSD multiple comparison tests using the software R – package *pgirmess* for ecological data analysis (R Development Core Team 2008). Spearman correlation analysis, among the variables was done using Statistica Software (Statsoft Inc. 2001).

A canonical correspondence analysis (CCA) was carried out to study the relationships between species dominance and soil variables in the 60 plots (Ter Braak 1995). It was built with two matrices: the first with biological and the second with environmental variables. Only 30 of the species with the highest coverage value were included in the first matrix. Eight variables were excluded after a preliminary analysis, due to high collinearity with other variables (FDS, gra, H+Al, m, peb, SB, SW and V). The program used was PCOrd (McCune and Mefford 1999).

RESULTS

Soil

In general, the soils were acidic, poor in nutrients and had low values for base saturation, sum of bases and CEC. They also had a high level of heavy metals and contained a great proportion of coarse particles (Table 1) (*Tabela 6.1*). However, the soils in itabirite habitats usually exhibited better fertility, with higher exchangeable contents of Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, N and Zn, in addition to higher organic matter, CEC and lesser aluminum saturation (m). Itabirite pedoenvironments also presented a higher proportion of bare rocks (BR), soil water contents (SW) and a lesser proportion of fine soil (FDS). Nevertheless, the fine soil fraction in itabirite soils showed higher proportions of clay and silt than the quartzite ones. The itabirite soils presented a coarser particle size (smaller Mz values), mainly constituted of gravels and according to Suguio (1973), varied from very poorly sorted to extremely poorly sorted. On the other hand, the quartzitic soils varied from poorly to very poorly sorted, mostly consisting of fine sand (Table 1) (*Tabela 6.1*). Only the variables pH, exchangeable content of Al and P were not significantly

different among the lithologies. The exchangeable levels of Al, Cu, P, S, Zn, percentage of bare rocks (BR), FDS, peb, SW, pH, m, Pr, CEC and Mz exhibited significant differences among the different geomorphological habitats. Soils in woody savanna habitats presented higher values for CEC and Mz, as well as a higher content of OM, N, K, S and Al and a lesser proportion of bare rocks (BR).

Many variables presented high correlations with others (Table 2) (Tabela 6.2). The pH was negatively correlated with CEC and the content of OM, Al, Ca, K, N, P and S. Organic matter content was positively correlated with all cation nutrients. The soil water content (SW) was correlated with clay and OM ($r = 0.55$ e 0.43 , respectively). The SW was also correlated positively with the proportion of pebbles, gravel, silt, clay and σ_1 and negatively with the proportions of fine sand (FS) and fine soil (FDS).

Tabela 6.1. Average (X) and standard deviation (s) of the soil variables in itabirite and quartzitic soils of rocky outcrops among different habitats, respectively in Ouro Preto (20°10'S and 43°31'W) and Mariana (20°13'S and 43°24'W), Brazil. Different letters in the same row indicate statistically significant differences (n=10, Tukey HSD test, $p < 0.05$)

	Itabirite						Quartzite					
	ISG		IPG		IWS		QSG		QPG		QWS	
	X	s	X	s	X	s	X	s	X	s	X	s
Al (cmolc/dm ³)	0.83ab	0.53	0.42a	0.42	1.02ab	0.39	0.82ab	0.79	0.44a	0.50	1.56b	0.98
Ca (cmolc/dm ³)	0.59a	0.29	0.55a	0.33	0.57a	0.19	0.11b	0.10	0.03b	0.06	0.08b	0.06
Cu (mg/dm ³)	0.45a	0.12	0.32ab	0.15	0.36a	0.16	0.16bc	0.14	0.16bc	0.16	0.02c	0.03
Fe (mg/dm ³)	589.0ab	308.3	455.1abc	260.2	790.7a	503.9	155.0c	43.5	284.8bc	133	136.4c	46.2
K (mg/dm ³)	54.3a	20.2	61.6a	29.3	64.8a	26.5	16.2b	11.6	11.9b	10.7	22.7b	10.8
Mg (cmolc/dm ³)	0.106a	0.087	0.112a	0.076	0.152a	0.046	0.006b	0.01	0.005b	0.01	0.004b	0.01
Mn (mg/dm ³)	54.62a	20.94	49.97a	28.99	45.76a	37.85	7.95b	6.21	2.65b	3.01	4.59b	3.08
N (dag/kg)	0.10abc	0.08	0.12ab	0.12	0.14a	0.10	0.04bc	0.038	0.02c	0.02	0.06abc	0.039
P (mg/dm ³)	2.62 ab	0.88	2.36 ab	1.12	4.09 a	1.84	4.09 a	2.86	1.21 b	0.42	1.92 b	0.84
Pr (mg/l)	33.60a	8.23	33.99a	8.59	30.87a	7.04	50.31b	5.57	49.63b	9.32	40.3ab	8.22
S (mg/dm ³)	7.01a	1.13	5.85a	2.39	8.38a	1.54	13.80b	3.76	12.46b	3.24	17.88c	3.68
Zn (mg/dm ³)	17.35a	3.59	13.06ab	5.90	8.71bc	4.35	4.40c	1.24	4.38c	1.70	5.45c	2.37
m (%)	37.36a	23.19	32.73a	21.77	52.7ab	10.76	78.75c	13.8	76.8bc	28	90.39c	5.36
SB (cmolc/dm ³)	0.84a	0.41	0.81a	0.35	0.88a	0.25	0.14b	0.09	0.16b	0.13	0.07b	0.08
V (%)	5.73a	2.50	6.38a	3.13	5.44a	1.83	4.08ab	1.41	2.15b	0.66	2.56b	1.03
pH	5.047ab	0.446	5.146ab	0.427	4.772a	0.337	4.906ab	0.474	5.337b	0.357	4.859a	0.290
H+Al (cmolc/dm ³)	14.38a	6.34	13.43a	5.26	16.46a	5.53	6.19b	3.79	4.02b	3.53	2.34b	1.98
CEC (cmolc/dm ³)	1.539ab	0.869	1.343ab	0.706	1.906a	0.534	0.978ab	0.899	0.505b	0.577	1.700a	1.046
OM (dag/kg)	11.555a	8.734	9.558ab	7.153	10.166a	4.339	2.623c	3.007	1.049c	1.128	3.232bc	2.202
SW (%)	1.09ab	1.19	0.75ab	1.19	2.23b	2.03	0.16a	0.15	0.42a	0.27	0.78ab	0.79
peb (%)	20.6a	11.237	8.6bc	6.931	9.1ab	6.367	0c	0	0c	0	0c	0
gra (%)	70.5a	10.906	61.6a	13.057	53.4a	21.366	0b	0	0b	0	0b	0
FDS (%)	8.6a	3.836	28.7a	17.870	33.4a	18.112	100b	0	100b	0	100b	0
CS (%)	32.9ab	19.2	36.2a	11.5	29.5ab	17.6	27.2ab	5.4	22.7ab	6.3	19.1b	5.3
FS (%)	28.5a	11.9	26.6a	6.8	36.1a	18.1	57.6b	5.8	65.9b	6.6	58.5b	3.7
sil (%)	24.3a	10.3	25.5a	6.9	20.4ab	7.5	10.4c	2.3	6.9c	2.5	13.3bc	2.6
cla (%)	14.3a	4.3	11.7a	4.8	14.0a	6.0	4.8b	3.5	4.5b	3.5	9.1ab	6.0
BR (%)	88.7a	2.2	62.0b	17.5	27.5c	12.5	83.2a	17.2	13.0c	13.6	11.2c	11.5
Mz	-1.35a	1.18	1.65b	2.15	3.03bc	2.39	4.88cd	1.32	4.73cd	1.40	6.19d	1.66
σ_1	5.19a	1.04	4.74a	1.09	4.96a	1.22	1.81b	0.83	1.71b	0.76	2.70b	1.23

ISG = Grasslands in sloped areas, with bare itabirite rocks, near the mountain summit; IPG = Grasslands on the itabirite plateaus, in the middle of the slope, with no more than a 10% inclination; IWS = Woody savannas in the lower and/or concave parts of the slopes, in valleys or depressions of the itabirite areas; QSG = Grasslands in sloped areas, with bare quartzite rocks, near the mountain summit; QPG = Grasslands on the quartzite plateaus, in the middle of the slope, with no more than a 10% inclination; QWS = Woody savannas in the lower and concave parts of the slopes, in valleys or depressions of the quartzite area; t = total content; Pr = remnant P; CEC = effective cation exchange capacity; H+Al = potential acidity; m = Aluminum saturation; SB= sum of bases; V= base saturation; OM = organic matter; SW = soil water content; peb = pebbles; gra = gravel; FDS = fine dried soil; CS = coarse sand; FS = fine sand; sil = silt; cla = clay; BR = bare rocks; Mz = granulometry measure, central tendency; σ_1 = granulometry measure, sorting as a dispersion measure.

Tabela 6.2. Spearman coefficient correlations among the soil variables in itabirite and quartzitic soils of rocky outcrops, respectively in Ouro Preto (20°10'S / 43°31'W) and Mariana (20°13'S / 43°24'W), Brazil. (Values in bold type are significant p < 0.05)

	Al	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	N	P	Pr	S	Zn	pH ^{H+AL}	m	SB	V%	CEC	OM	SW	BR	peb	gra	FDS	CS	FS	sil	cla	Mz	σ_1	
Al	1.00	0.27	-0.22	0.04	0.44	0.17	0.11	0.61	0.37	-0.49	0.38	0.11	-0.73	0.51	0.38	0.31	-0.12	0.82	0.51	0.36	-0.11	0.10	0.01	-0.06	-0.26	-0.13	0.08	0.49	0.22	0.30
Ca	0.27	1.00	0.56	0.53	0.79	0.86	0.87	0.57	0.44	-0.64	-0.61	0.67	-0.33	0.81	-0.66	0.99	0.79	0.67	0.78	0.39	0.36	0.77	0.76	-0.79	0.22	-0.72	0.73	0.64	-0.50	0.74
Cu	-0.22	0.56	1.00	0.69	0.36	0.50	0.63	0.11	0.10	-0.28	-0.74	0.54	0.10	0.39	-0.64	0.54	0.59	0.05	0.31	0.16	0.38	0.68	0.67	-0.69	0.29	-0.46	0.47	0.21	-0.72	0.45
Fe	0.04	0.53	0.69	1.00	0.60	0.66	0.59	0.38	0.17	-0.49	-0.65	0.58	-0.06	0.56	-0.50	0.58	0.37	0.22	0.52	0.38	0.19	0.74	0.65	-0.70	0.10	-0.39	0.45	0.37	-0.66	0.52
K	0.44	0.79	0.36	0.60	1.00	0.78	0.73	0.86	0.51	-0.78	-0.46	0.62	-0.49	0.95	-0.49	0.86	0.40	0.67	0.94	0.44	0.24	0.76	0.70	-0.73	0.09	-0.67	0.73	0.73	-0.41	0.83
Mg	0.17	0.86	0.50	0.66	0.78	1.00	0.77	0.55	0.41	-0.57	-0.59	0.64	-0.23	0.72	-0.60	0.89	0.71	0.56	0.72	0.45	0.20	0.75	0.72	-0.74	0.24	-0.68	0.66	0.60	-0.49	0.72
Mn	0.11	0.87	0.63	0.59	0.73	0.77	1.00	0.49	0.30	-0.58	-0.73	0.78	-0.17	0.72	-0.72	0.87	0.72	0.47	0.69	0.30	0.44	0.79	0.80	-0.80	0.22	-0.72	0.78	0.59	-0.57	0.76
N	0.61	0.57	0.11	0.38	0.86	0.55	0.49	1.00	0.56	-0.78	-0.15	0.38	-0.70	0.88	-0.23	0.65	0.11	0.69	0.92	0.39	0.19	0.53	0.44	-0.48	-0.09	-0.42	0.52	0.64	-0.16	0.66
P	0.37	0.44	0.10	0.17	0.51	0.41	0.30	0.56	1.00	-0.26	-0.04	0.17	-0.45	0.54	-0.16	0.48	0.26	0.45	0.54	0.21	0.42	0.33	0.31	-0.33	0.14	-0.28	0.22	0.33	-0.15	0.28
Pr	-0.49	-0.64	-0.28	-0.49	-0.78	-0.57	-0.58	-0.78	-0.26	1.00	0.35	-0.53	0.52	-0.84	0.31	-0.69	-0.21	-0.66	-0.83	-0.51	-0.08	-0.63	-0.59	0.61	0.08	0.53	-0.63	-0.78	0.27	-0.77
S	0.38	-0.61	-0.74	-0.65	-0.46	-0.59	-0.73	-0.15	-0.04	0.35	1.00	-0.64	-0.30	-0.42	0.82	-0.59	-0.63	0.04	-0.37	-0.15	-0.39	-0.77	-0.80	0.80	-0.32	0.64	-0.73	-0.35	0.72	-0.61
Zn	0.11	0.67	0.54	0.58	0.62	0.64	0.78	0.38	0.17	-0.53	-0.64	1.00	0.02	0.57	-0.58	0.68	0.58	0.33	0.57	0.21	0.34	0.74	0.73	-0.76	0.28	-0.67	0.66	0.50	-0.63	0.66
pH	-0.73	-0.33	0.10	-0.06	-0.49	-0.23	-0.17	-0.70	-0.45	0.52	-0.30	0.02	1.00	-0.60	-0.19	-0.38	0.07	-0.72	-0.61	-0.22	0.01	-0.10	-0.03	0.06	0.22	0.06	-0.11	-0.39	-0.20	-0.26
H+AL	0.51	0.81	0.39	0.56	0.95	0.72	0.72	0.88	0.54	-0.84	-0.42	0.57	-0.60	1.00	-0.45	0.86	0.34	0.74	0.97	0.48	0.26	0.75	0.70	-0.73	0.07	-0.66	0.71	0.75	-0.40	0.82
m	0.38	-0.66	-0.64	-0.50	-0.49	-0.60	-0.72	-0.23	-0.16	0.31	0.82	-0.58	-0.19	-0.45	1.00	-0.64	-0.67	0.02	-0.46	-0.08	-0.44	-0.65	-0.74	0.71	-0.25	0.55	-0.64	-0.29	0.61	-0.54
SB	0.31	0.99	0.54	0.58	0.86	0.89	0.87	0.65	0.48	-0.69	-0.59	0.68	-0.38	0.86	-0.64	1.00	0.74	0.70	0.84	0.43	0.34	0.80	0.78	-0.80	0.19	-0.73	0.75	0.68	-0.50	0.79
V%	-0.12	0.79	0.59	0.37	0.40	0.71	0.72	0.11	0.26	-0.21	-0.63	0.58	0.07	0.34	-0.67	0.74	1.00	0.28	0.34	0.09	0.40	0.55	0.58	-0.58	0.31	-0.54	0.52	0.27	-0.48	0.44
CEC	0.82	0.67	0.05	0.22	0.67	0.56	0.47	0.69	0.45	-0.66	0.04	0.33	-0.72	0.74	0.02	0.70	0.28	1.00	0.72	0.44	0.01	0.38	0.30	-0.35	-0.08	-0.43	0.39	0.70	0.02	0.54
OM	0.51	0.78	0.31	0.52	0.94	0.72	0.69	0.92	0.54	-0.83	-0.37	0.57	-0.61	0.97	-0.46	0.84	0.34	0.72	1.00	0.43	0.28	0.70	0.65	-0.68	0.01	-0.60	0.70	0.75	-0.35	0.79
SW	0.36	0.39	0.16	0.38	0.44	0.45	0.30	0.39	0.21	-0.51	-0.15	0.21	-0.22	0.48	-0.08	0.43	0.09	0.44	0.43	1.00	-0.18	0.49	0.43	-0.46	-0.05	-0.31	0.30	0.55	-0.24	0.45
BR	-0.11	0.36	0.38	0.19	0.24	0.20	0.44	0.19	0.42	-0.08	-0.39	0.34	0.01	0.26	-0.44	0.34	0.40	0.01	0.28	-0.18	1.00	0.41	0.40	-0.43	0.33	-0.34	0.27	0.10	-0.50	0.26
peb	0.10	0.77	0.68	0.74	0.76	0.75	0.79	0.53	0.33	-0.63	-0.77	0.74	-0.10	0.75	-0.65	0.80	0.55	0.38	0.70	0.49	0.41	1.00	0.87	-0.95	0.24	-0.71	0.73	0.63	-0.81	0.80
gra	0.01	0.76	0.67	0.65	0.70	0.72	0.80	0.44	0.31	-0.59	-0.80	0.73	-0.03	0.70	-0.74	0.78	0.58	0.30	0.65	0.43	0.40	0.87	1.00	-0.96	0.42	-0.81	0.75	0.62	-0.78	0.72
FDS	-0.06	-0.79	-0.69	-0.70	-0.73	-0.74	-0.80	-0.48	-0.33	0.61	0.80	-0.76	0.06	-0.73	0.71	-0.80	-0.58	-0.35	-0.68	-0.46	-0.43	-0.95	-0.96	1.00	-0.37	0.79	-0.75	-0.64	0.84	-0.77
CS	-0.26	0.22	0.29	0.10	0.09	0.24	0.22	-0.09	0.14	0.08	-0.32	0.28	0.22	0.07	-0.25	0.19	0.31	-0.08	0.01	-0.05	0.33	0.24	0.42	-0.37	1.00	-0.60	0.09	-0.02	-0.47	0.07
FS	-0.13	-0.72	-0.46	-0.39	-0.67	-0.68	-0.72	-0.42	-0.28	0.53	0.64	-0.67	0.06	-0.66	0.55	-0.73	-0.54	-0.43	-0.60	-0.31	-0.34	-0.71	-0.81	0.79	-0.60	1.00	-0.76	-0.63	0.53	-0.75
sil	0.08	0.73	0.47	0.45	0.73	0.66	0.78	0.52	0.22	-0.63	-0.73	0.66	-0.11	0.71	-0.64	0.75	0.52	0.39	0.70	0.30	0.27	0.73	0.75	-0.75	0.09	-0.76	1.00	0.64	-0.45	0.82
cla	0.49	0.64	0.21	0.37	0.73	0.60	0.59	0.64	0.33	-0.78	-0.35	0.50	-0.39	0.75	-0.29	0.68	0.27	0.70	0.75	0.55	0.10	0.63	0.62	-0.64	-0.02	-0.63	0.64	1.00	-0.19	0.79
Mz	0.22	-0.50	-0.72	-0.66	-0.41	-0.49	-0.57	-0.16	-0.15	0.27	0.72	-0.63	-0.20	-0.40	0.61	-0.50	-0.48	0.02	-0.35	-0.24	-0.50	-0.81	-0.78	0.84	-0.47	0.53	-0.45	-0.19	1.00	-0.43
σ_1	0.30	0.74	0.45	0.52	0.83	0.72</																								

Soil-vegetation relationships

Altogether 263 species were found, belonging to 64 families, 160 of the species in itabirite (84 species in ISG, 104 in IPG, 128 in IWS) and 165 in quartzitic habitats (85 in QSG, 101 in QPG and 130 in QWS). The 30 species with the highest mean cover value in the 60 plots (Table 3) were selected for canonical correspondence analysis. They belonged mainly to Asteraceae (23.3%), Poaceae (16.7%) and Melastomataceae (13.3%). The sites in the different lithologies were well segregated in CCA (Fig. 1) (*Figura 6.1*). The eigenvalues of the three first axes of the CCA diagram were significant (axis 1 = 0.65; axis 2 = 0.246, axis 3 = 0.178), the first one explaining 21.3% of the total variance, the second 8.1% and the third 5.8%, totaling 35.2% of the variance explained (Table 4) (*Tabela 6.4*). The Pearson's correlation index, obtained from the Monte Carlo permutation test (Table 4) (*Tabela 6.4*), showed that the species coverage was significantly correlated with the soil properties ($r = 0.926$, $p < 0.001$ in the first axis; $r = 0.892$, $p < 0.001$ in the second axis and $r = 0.861$, $p < 0.001$ in the third one).

On one hand, the first axis was positively correlated to the percentage of bare rocks (BR); σ_1 , silt and the exchangeable contents of Ca, Cu, Mn and Mg; while on the other hand, it was negatively correlated to the Mz, exchangeable content of S and percentage of fine sand (FS) (Fig. 1) (*Figura 6.1*). This axis separated itabirite from quartzite habitats and also the QSG from the other quartzite habitats. BR, FS and the exchangeable contents of Cu and S were positively correlated to the second axis while Mz, σ_1 , silt and the exchangeable contents of Ca, Mg, and Mn were negatively correlated. This axis separated the different habitats in itabirite, which were well segregated, and also the grasslands with bare rocks in quartzite habitat, from the other habitats in quartzite areas. The third axis did not show any strong (> 0.4) eigenvector, with the CEC and exchangeable content of P and Mg being positively correlated (> 0.3) and the proportion of bare rocks showing as negatively correlated (-0.316).

Tabela 6.3. Species selected for canonical correspondence analysis (CCA) and their respective mean coverage in the different habitats of rocky outcrop sites.

Abbrev	Species	Family	Voucher	Itabirite			Quartzite		
				ISG	IPG	IWS	QSG	QPG	QWS
Aci ter	<i>Acianthera teres</i> (Lindl.) Borba	Orchidaceae	1426	0.50	0.12	0.10	0.77	0.01	0.03
Apo pol	<i>Apochloa poliophylla</i> (Renvoize & Zuloaga) Zuloaga & Morrone	Poaceae	1566	5.67	5.66	3.02	1.90	0.08	0.94
Axo lax	<i>Axonopus laxiflorus</i> (Trin.) Chase	Poaceae	1623	1.13	0.52	0.59	0.76	0.03	6.54
Axo sic	<i>Axonopus siccus</i> (Nees) Kuhlman	Poaceae	1852	0.50	1.64	0.21	0.26	0.14	0.08
Bac pla	<i>Baccharis platypoda</i> DC.	Asteraceae	1974	0.00	0.03	0.02	0.13	1.79	0.01
Bac ret	<i>Baccharis reticularia</i> DC.	Asteraceae	1485	2.12	0.34	0.79	0.47	0.11	0.79
Byr var	<i>Byrsonima variabilis</i> A.Juss.	Malpighiaceae	1633	1.28	0.08	1.69	0.30	0.00	0.33
Cal cle	<i>Calea clematidea</i> Baker	Asteraceae	1833	0.00	0.00	0.00	0.03	0.51	1.27
Cli urc	<i>Clidemia urceolata</i> DC.	Melastomataceae	2206	0.00	0.00	0.00	3.85	6.05	4.35
Coc acr	<i>Coccoloba acrostichoides</i> Cham.	Polygonaceae	1438	1.35	4.75	3.20	0.00	0.10	0.03
Cro ery	<i>Croton erythroxyloides</i> Baill.	Euphorbiaceae	1397	0.90	0.99	0.10	0.00	0.00	0.00
Dic rar	<i>Dyckia rariflora</i> Schult. & Schult.f.	Bromeliaceae	1689	0.32	0.16	0.08	0.83	0.00	0.00
Ech inf	<i>Echinolaena inflexa</i> (Poir.) Chase	Poaceae	1863	0.00	0.00	0.00	2.41	11.9	9.10
Ere cro	<i>Eremanthus crotonoides</i> (DC.) Sch.Bip.	Asteraceae	2117	0.40	1.65	2.49	5.20	5.60	5.70
Ere ery	<i>Eremanthus erythropapus</i> (DC.) MacLeish	Asteraceae	1475	0.60	0.80	11.8	2.80	1.16	8.25
Ere inc	<i>Eremanthus incanus</i> (Less.) Less.	Asteraceae	1394	2.50	0.00	2.50	5.60	0.15	0.00
Ile sub	<i>Ilex subcordata</i> Reissek	Aquifoliaceae	2069	0.44	0.33	0.82	0.00	0.08	0.08
Lag rig	<i>Lagenocarpus rigidus</i> Ness	Cyperaceae	1292	22.0	4.45	3.15	7.76	1.07	0.03
Lea aus	<i>Leandra australis</i> (Cham.) Cogn.	Melastomataceae	1709	0.84	0.42	1.48	1.63	0.00	0.00
Lyc pin	<i>Lychnophora pinaster</i> Mart.	Asteraceae	1360	2.23	12.3	0.50	0.00	0.00	0.00
Myr mul	<i>Myrcia multiflora</i> (Lam.) DC.	Myrtaceae	1531	0.00	0.00	0.00	0.10	0.32	1.09
Myr pul	<i>Myrcia pulchra</i> (O.Berg) Kiaersk.	Myrtaceae	2254	0.36	1.50	1.85	0.00	0.00	0.00
Myr spl	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	Myrtaceae	1659	0.50	0.63	0.09	0.10	0.44	1.15
Per gla	<i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp. ex Baill.	Peraceae	2049	0.00	0.00	0.50	0.00	0.39	1.75
Sch ten	<i>Schizachyrium tenerum</i> Nees	Poaceae	1916	1.29	0.61	0.23	0.05	0.01	0.16
Sta gla	<i>Stachytarpheta glabra</i> Cham.	Verbenaceae	1945	0.71	0.23	0.31	0.97	0.07	0.14
Tap gui	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Anacardiaceae	1898	0.00	0.00	0.00	0.00	1.42	3.82
Tib het	<i>Tibouchina heteromalla</i> (D.Don) Cogn.	Melastomataceae	1367	4.25	2.16	1.61	0.31	0.37	1.64
Tre lan	<i>Trembleya laniflora</i> (D.Don) Cogn.	Melastomataceae	1922	0.00	0.00	2.70	0.31	0.06	0.05
Vel com	<i>Vellozia compacta</i> Mart. ex Schult. & Schult.f.	Velloziaceae	1845	46.0	19.0	9.30	3.65	0.00	0.60

Abbrev = abbreviations used in Figure 2 (Figura 6.1) for species names. Voucher = Collect number of MCTB Messias; ISG = Grasslands in sloped areas, with bare itabirite rocks, near the mountain summit; IPG = Grasslands on the itabirite plateaus, in the middle of the slope, with no more than a 10% inclination; IWS = Woody savannas in the lower and/or concave parts of the slopes, in valleys or depressions of the itabirite areas; QSG = Grasslands in sloped areas, with bare quartzite rocks, near the mountain summit; QPG = Grasslands on the quartzite plateaus, in the middle of the slope, with no more than a 10% inclination; QWS = Woody savannas in the lower and concave parts of the slopes, in valleys or depressions of the quartzite areas.

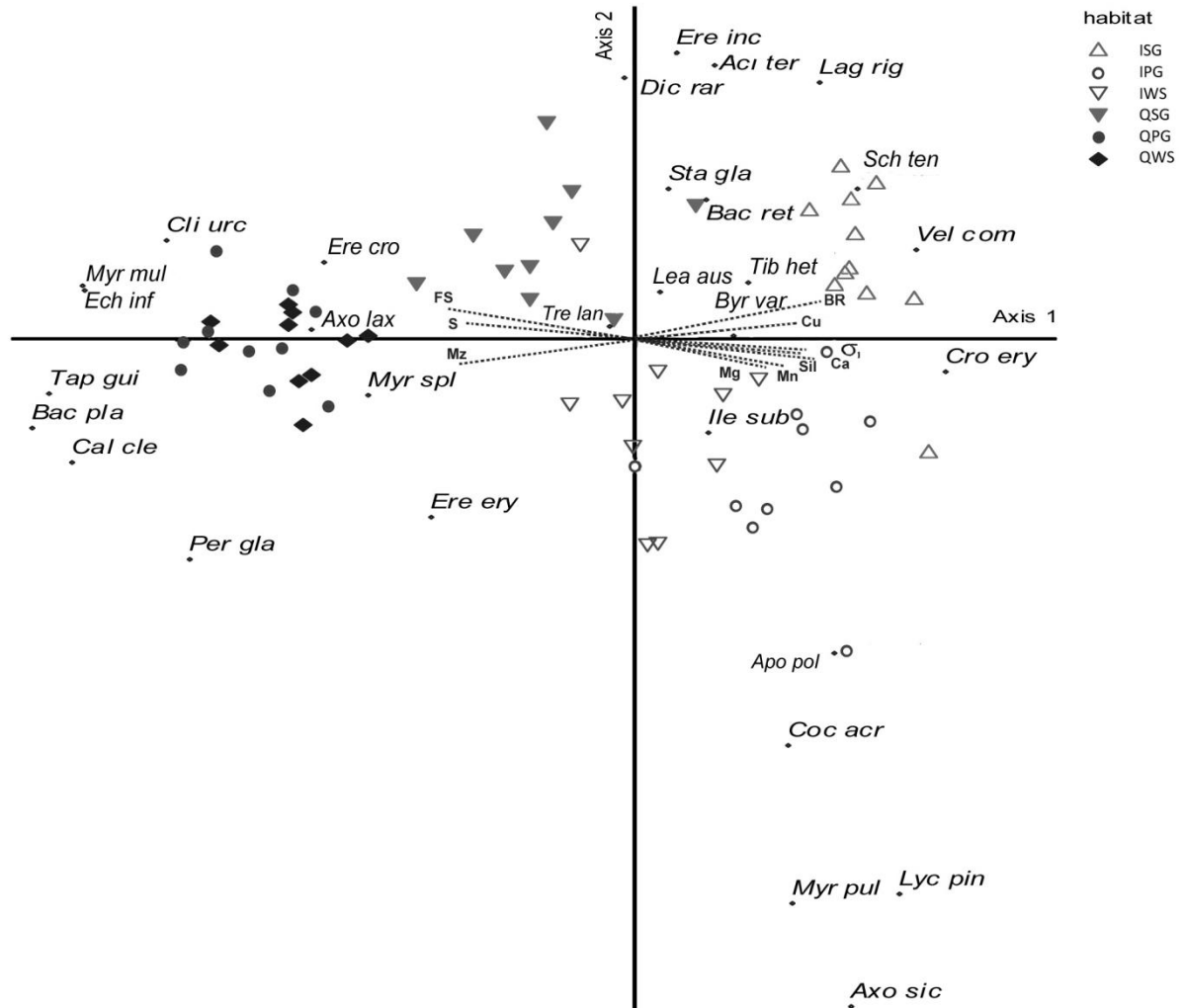


Figura 6.1. Ordination diagram of the Canonical Correspondence Analysis related to data of 60 plots of rocky outcrop sites, with the 30 highest cover value species and soil variables. Soil properties are given as eigenvectors. Species names are given in Table 3 (Tabela 6.3). Plots are designated by symbols representing the different habitats. ISG = Grasslands in sloped areas, with bare itabirite rocks, near the mountain summit; IPG = Grasslands on the itabirite plateaus, in the middle of the slope, with no more than a 10% inclination; IWS = Woody savannas in the lower and/or concave parts of the slopes, in valleys or depressions of the itabirite areas; QSG = Grasslands in sloped areas, with bare quartzite rocks, near the mountain summit; QPG = Grasslands on the quartzite plateaus, in the middle of the slope, with no more than a 10% inclination; QWS = Woody savannas in the lower and concave parts of the slopes, in valleys or depressions of the quartzite area; FS = fine sand; sil = silt; BR = bare rocks; Mz = granulometry measure - central tendency; σ_1 = granulometry measure - sorting; Ca = Calcium; Cu = copper; Mg = magnesium; Mn = manganese; S = sulphur.

The species *Lagenocarpus rigidus*, *Croton erythroxyloides*, *Vellozia compacta*, *Schizachyrium tenerum*, *Acianthera teres*, *Baccharis reticularia*, *Eremanthus incanus*, *Dickya rariflora*, *Stachytarpheta glabra*, *Tibouchina heteromalla* and *Byrsonima variabilis* were associated with habitats having a high percentage of bare rocks, more variation in the soil particle size (σ_1), and a higher content of Ca, Cu, Fe, K, Mn, Mg, N, P and Zn (upper right on Fig. 1) (Figura 6.1). These species had a higher coverage value on ISG, segregating the plots of this habitat. All of these species, except *Croton erythroxyloides*, also occurred in quartzitic areas with bare rocks. On the other hand, *Echinolaena inflexa*, *Clidemia urceolata*, *Eremanthus crotonoides*, *Myrcia multiflora* and *Axonopus laxiflorus* were related to quartzite grassland habitats (left on Fig. 1, near axis 1) (Figura 6.1). The coverage of these species was positively correlated with Mz, contents of fine sand and exchangeable S.

Axis 2 segregated the habitats on itabirite. The sloped grassland plots (ISG) and the species dominating in this habitat were grouped in the upper right quadrant; the woody savannas (IWS) group of plots (with their dominant species) below the intersection of the two axes and the grassland plateaus with duricrusts (IPG) plots and their typical species (*Coccoloba acrostichoides*, *Myrcia pulchra*, *Lychnophora pinaster* and *Axonopus siccus*) fall into the lower right quadrant. None of isolated soil variables were strongly related with the segregation of this last group, but they were conditioned by a lesser content of Fe and Al, higher pH and slightly by the content of Mn and coarse sand. The lower left quadrant displayed species dominating the quartzitic woody savannas (*Tapirira guianensis*, *Baccharis platypoda*, *Calea clematidea*, *Myrcia multiflora* and *Pera glabrata*). *Myrcia splendens* and *Eremanthus erythropappus* were also in this quadrant between the groups of woody savannas in the different lithologies, occurring in both of them. The woody savannas in quartzitic areas were separated mainly by the higher content of exchangeable S, the smaller soil particle size (higher Mz) and the higher proportion of FS (Fig. 1) (*Figura 6.1*).

Tabela 6.4. Summary of Canonical correspondence analysis (CCA) and Monte Carlo permutation test of plant species coverage and soil properties for the studied rocky outcrops.

	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Eigenvalue	0.650	0.246	0.178
Percentage of variance	21.3	8.1	5.8
Cumulative percentage of variance	21.3	29.4	35.2
Significance of eigenvalues (Monte Carlo test)	0.014	0.021	0.019
Pearson's correlation for species-soil	0.926	0.892	0.861
Significance of correlation (Monte Carlo test)	0.001	0.001	0.001

DISCUSSION

Even though the soils found in *campos rupestres* are, in general, acid, poor in nutrients and presenting high levels of heavy metals, there was found, for both quartzite and itabirite soils, a large variation in the content of chemical elements by comparing the results of the present study and other chemical and physical analyses of rocky outcrop soils (Benites *et al.* 2005; Benites *et al.* 2007; Conceição and Giulietti 2002; Conceição *et al.* 2007; Fernandes *et al.* 2007; Gonçalves-Alvim and Fernandes 2001; Meguro *et al.* 1994; Negreiros *et al.* 2008; Oliveira *et al.* 2009; Oliveira Junior *et al.* 2006; Teixeira and Lemos-Filho 2002; Vincent and Meguro 2008; Vitta 1995).

The Fe content found in itabirite rocky outcrop soils was similar to that found at “Serra dos Carajás”, northern Brazil (Silva 1992) and in *cangas couraçadas* in *Quadrilátero Ferrífero* (Vincent and Meguro 2008), but higher than other surveys also in *Quadrilátero Ferrífero: canga nodular* at *Serra do Rola Moça* (Vincent and Meguro 2008); *Serra de Itabirito* (Teixeira and Lemos-Filho 2002) and in *canga* and *campo sujo* near Catas Altas (Gonçalves-Alvim and Fernandes 2001). The comparison of other metal levels among ferruginous outcrops in *Quadrilátero Ferrífero* (Gonçalves-Alvim and Fernandes 2001; Teixeira and Lemos-Filho 2002; Vincent and Meguro 2008) and *Serra dos Carajás* (Nunes 2009; Silva 1992) also reveals a relevant difference among them.

The studied quartzitic area presented a higher level of Fe than the other quartzite areas studied (Benites *et al.* 2003; Negreiros *et al.* 2008), but similar to that found in another quartzite soil close to a ferruginous area (Vincent and Meguro 2008). The quartzitic soils had a very high Al saturation (m) and a medium to high content of Al, while the itabirite soils had a low to medium content with a medium (in IPG) to very high Al saturation (in IWS) according to Tomé-Junior (1997). The CEC was considered from very low in quartzitic plateaus (QPG) to low in the other habitat soils (Alvarez-Venegas *et al.* 1999). According to Alvarez-Venegas *et al.* (1999) the exchangeable K content was considered low to medium in quartzite soils and high in itabirite soils, and both quartzite and itabirite soils presented a low exchangeable level of Ca and Mg. Teixeira and Lemos-Filho (2002) and Oliveira Junior *et al.* (2006) found a higher content of exchangeable Mg in quartzitic areas. The organic matter content was higher in itabirite habitats, considered very high in itabirite pedoenvironments, low in QPG and medium in QSG and QWS, in accordance with Alvarez-Venegas *et al.* (1999). Most of the exchangeable cation contents were positively correlated to the amount of organic matter. Similar results were found in a ferruginous outcrop in the Amazon region (Nunes 2009). The content of Fe was also correlated to OM, suggesting the role of OM in the dissolution of precipitated iron compounds.

According to Malavolta (2006) and Hazelton and Murphy (2007), pH affects the availability of various nutrients and toxic elements to plants. The negative correlation of pH with Al is described as being due to the precipitation of this chemical element, not in an exchangeable form, as the pH increases (Malavolta 2006). However, a negative correlation was found between pH and organic matter and also a positive correlation between organic matter and the majority of the exchangeable element contents like Al, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, N, P and Zn, giving evidence of the organic origin of these elements. Most of the organic substances in soils associated with rocky outcrops are strongly humified, with predominance of the humic acid fraction (Benites *et al.* 2007), which explains the negative correlation of pH and OM. In the analyzed soils, the greater the OM content, the higher the metal content and the lower the pH level. As stated by Sparovek and Camargo (1997), the vegetation itself influences soil characteristics at the upper layers and vice-versa; for instance, by transferring organic matter through nutrient cycling. Suitable physical or nutritional conditions afford greater productivity, generating a higher amount of organic matter, giving rise to a feedback loop. Thus, the higher content of exchangeable Al in the woody savanna habitats would be explained by the thicker soils and by the occurrence of many species able to accumulate aluminum in their leaves (Haridasan 1982), which transfer this element to the soil through litter deposition and decomposition. According to Jansen *et al.* (2002) many species of Myrtales are Al accumulators, especially Melastomataceae, Vochysiaceae and Myrtaceae, very common families in this survey and *campos rupestres* habitats in general (Conceição and Pirani 2002; Conceição *et al.* 2007; Mourão and Stehmann 2007). According

to Haridasan (1982), aluminum-accumulating species of these families, in Brazilian savannas, seem to have an efficient mechanism for absorbing all cations from the soil.

Organic matter is the main source of nutrients and this, obviously, contributes to the high positive correlation between OM and nutrients. However, OM should improve soil fertility by increasing the soil's CEC, reducing the leaching of cations and providing chelates, which would enhance the solubility of certain nutrients (Benites *et al.* 2003) or reduce the availability of toxic elements (Hazelton and Murphy 2007). According to Benites *et al.* (2003) and Silva *et al.* (2009) the humic acids are responsible for most of the cation exchange capability (CEC) and water retention capacity of the rocky outcrop soils, especially where clay minerals are virtually absent.

The positive correlation between Fe and soil water content was due to the fact that in itabirite pedoenvironments, there were found a higher variation of soil particle size, a higher percentage of clay into the fine soil and also higher organic matter content. In the quartzitic plateau habitat, where the drainage was deficient, there was also found a higher level of exchangeable Fe, where the waterlogging led to the formation of Fe^{+2} , increasing its availability.

The CCA results indicated the existence of a moderate gradient among the habitats, i.e. part of the species distributed more equitably and part were exclusive of particular segments (Ter Braak 1995). The three axes explained only 35.2% of the total variance, but this situation is common in vegetation studies and does not reduce the significance of the relationship of species-environment (Ter Braak 1995). In fact, the CCA produced high values for the species-environment correlation in all of the three axes. Moreover, the Monte Carlo test indicated that this correlation was statistically significant in these three axes. Even though the soils in *campos rupestres* were poor in nutrients, small variations in element contents were enough to determine species composition. Some species were adapted to a soil with more cation content, nutrients or heavy metals, and others seem to dominate environments with very poor soils. In addition, other species were indifferent to variation in soil nutrients being equally distributed along the gradient as *Byrsonima variabilis*, *Ilex subcordata* and *Leandra australis*.

Fe, Mn, Zn and Cu had a similar behavior in most of the correlations with the other chemical elements and were also strongly correlated with the first axis in the CCA (Fig. 1) (*Figura 6.1*). The first quadrant (upper right on Fig. 1) (*Figura 6.1*) showed species related to the environment with a higher content of these metals and also other macronutrients such as Ca, K, Mg and N, such as *Vellozia compacta*, *Croton erythroxyloides*, *Schizachyrium tenerum*, *Baccharis reticularia* and others. Among the species with a higher coverage in environments with a higher content of Ca, Cu, Fe, K, Mn, Mg, N, P and Zn, some were already described as a metal-tolerant or hyperaccumulator species. Species of *Vellozia* were identified as metal accumulators (Antonovics *et al.* 1971; Brooks 1998), suggesting adaptations to high metal concentrations in Velloziaceae. Euphorbiaceae was also

described as a hyperaccumulator family (Reeves *et al.* 2007). Asteraceae (*Eremanthus erythropappus* and *E. glomerulatus*) and Melastomataceae (*Microlicia crenulata* and *Trembleya laniflora*), growing on ferruginous soils, presented an accumulation of Cu, Fe, Mn and Zn (Teixeira and Lemos-Filho 1998). Many Myrtales, especially Melastomataceae and Vochysiaceae species were also given as a metal accumulator (Jansen *et al.* 2002). *Coccoloba acrostichoides* belongs to Caryophyllales, which shows a general ability to accumulate metals in their shoot (Broadley 2001). *Byrsonima variabilis* behaved as an accumulator of Ba, Cu, Mn, Sr and Zn (Correa 2006). These examples and the high metal concentrations in itabirite soils verified in this work and also by Teixeira and Lemos-Filho (2002); Vincent (2004) and Vincent and Meguro (2008) suggest the occurrence of many metallophytes, or at least metal-tolerant species, in ferruginous rocky outcrops.

Eremanthus incanus was slightly positively correlated and *E. erythropappus* negatively correlated with the first axis of CCA. It evidences the adaptation of these species to live in soils that have a low content of macronutrients, which were positively related with this axis on CCA, as shown by Venturin *et al.* (2005) and Soeltl (2009).

The physical properties of soils seem to be very important to determine the vegetation in rocky outcrops. The variables associated with soil granulometry were strongly related with the first axis of the CCA. The central tendency measure (Mz) and the variation of soil particle size (σ_1) are important factors determining physical soil properties like penetrability of roots, water retention capacity, and permeability, besides other chemical properties like CEC and nutrient availability (Hazelton and Murphy 2007). Actually, Mz was related to chemical element content and properties like CEC. Even though the soil water content was positively correlated with σ_1 ($r = 0.45$), it does not mean there is a cause-effect phenomena. It may be due to the higher content of organic matter presented in the itabirite soils. Moreover, the poor drainage observed in the QPG may not be related to these variables, but probably due to the topography, restricting the rainfall runoff and by the continuous and impermeable quartzite bedrock under the shallow soil, hindering vertical percolation. The species with a high coverage in QPG (negative pole of the first axis in CCA) seemed to be well adapted to very low nutrient contents but not to tolerating high levels of heavy metals. In fact, the coverage of *Echinolaena inflexa*, *Eremanthus crotonoides* and *Clidemia urceolata* showed a significant positive correlation with the proportion of fine sand and negative correlations with the exchangeable content of Ca, Cu, K, Mg, Mn, N and P, corroborating this statement. Conceição and Giulietti (2002) and Conceição and Pirani (2005) also found more dominance of the hemicryptophyte species, (mainly Poaceae) in quartzitic plateaus with continuous soils whereas *campos rupestres* with bare quartzite rocks were dominated by Velloziaceae and other phanerophyte species.

Tapirira guianensis, *Baccharis platypoda*, *Calea clematidea* and *Pera glabrata* are phanerophyte species, commonly found in QWS. They need a thicker soil to grow, which was found in the colluvial soil present in the depressions or concave parts of the slopes. Even though it was not

measured, convergent hollows usually accumulate sediment from surrounding ridges or side slopes, in addition to the in-situ disintegration of the bedrock (Matsushi *et al.* 2006). The higher Mz in QWS suggests the downward transportation in larger proportions of smaller soil particles from higher parts of the slopes. These species were also related to the content of exchangeable S, which was higher in quartzite woody savannas due to the richness in organic matter. In fact, in quartzite plots, a positive correlation between these variables ($r = 0.79$) was found.

Some soil variables, mainly the physical ones, explained the segregation of grasslands from woody savannas. The woody savannas are determined by areas with smaller particle size, a lesser bare rock proportion, a higher CEC, contents of organic matter and Al. Notwithstanding, the grasslands on the plateaus (QPG) and woody savannas (QWS) in quartzite were not so well discriminated. It suggests that other variables besides those measured in this study may be involved in the discrimination of this environment. QPG was the single habitat that exhibited waterlogging in the rainy season, but the simple measure of soil water content was not effective enough to bring out strong differences among the studied habitats. So, other variables, such as the duration of the saturation, should have been evaluated. Some species like *Vellozia compacta* do not occur in this habitat at all, and none of the measured variables showed a strongly negative correlation to explain this absence. Furthermore, the thickness of the soil may play an important role in the determination of the woody savanna physiognomy and it was not accessed in this work.

In addition, some of the most abundant species in itabirite plateaus with *canga* (*Lychnophora pinaster*, *Myrcia pulchra*, *Axonopus siccus*, *Coccoloba acrostichoides* and *Apochloa poliophylla*) were well discriminated by the second axis (lower right quadrant). This axis showed a gradient separating ISG, IWS and IPG plots. The stronger variable negatively related with the second axis was Mz. None of the measured soil variables alone stacked IPG up in relation to the other two habitats, to explain this segregation. Even though not statistically significant, the *canga* habitats showed the lowest proportion of fine sand and clay, lower metal contents than ISG, the highest proportions of coarse sand and silt, and a slightly higher value of pH, which may be the cause of the segregation of these species. In addition, this habitat has a harder substrate, which raises difficulties for root penetration. It also presented the lowest values of soil water content (a variable not used in the CCA). Some other factors besides those measured in this work, or not an isolated one, may be influencing the screening of the species in this environment. But, in contrast with the others of the upper right quadrant, these species did not present any significant correlation with the contents of macronutrients, except N and only some correlation with Mn, Cu and Zn. In fact, Oliveira Junior *et al.* (2006) related that *Lychnophora pinaster* is an aluminum tolerant species, not exigent in macronutrients, but needs considerable contents of Mn and Zn, which corroborate its adaptability to poor soils containing a high level of metals.

Phytosociological parameters in rocky outcrops were influenced by the geochemistry, geomorphology and physical properties of the soils. Even though the soil itself was not enough to explain all the differences found in the vegetation, it explained a large amount of the variation observed in the flora. The individual role of each soil variable and its correlation with each species is less important than the analysis of the soil as a complex environment. None of the variables plays just one function in the soil, but all of them interact among themselves constituting a complex pedoenvironment, influencing the vegetation.

Even though such ferruginous areas would be grouped with the most common quartzite-sandstone areas under the name “*campos rupestres*”, they are actually particular and harbor many metallophyte species. There are only two parks harboring ferruginous rocky outcrops in the Quadrilátero Ferrífero and mining activities have caused great destruction to this still poorly known and very rich ecosystem. So, special attention must be given to its preservation by improving mining regulatory measures and creating new conservation areas.³

REFERENCES

- Alvarez-Venegas VH, Novais RF, Barros NF, Cantarutti RB, Lopes AS (1999) Interpretação dos resultados das análises de solos (Interpretation of Soil Analysis Results). In Ribeiro AC, Guimarães PTG, Alvarez-Venegas VH (eds) *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (A Recommendation for liming and fertilization in Minas Gerais)*. Ed. 5, CFSEMG, Viçosa, Brazil, pp 25-32
- Antonovics J, Bradshaw AD, Turner RG (1971) Heavy metal tolerance in plants. *Adv Ecol Res* 7:1-85
- APG (Angiosperm Phylogeny Group) (2009) An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Bot J Linn Soc* 161: 105-121
- Benites VM, Caiafa AN, Mendonça ES, Schaefer CE, Ker JC (2003) Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e do Espinhaço (Soil and vegetation on the high altitude rocky complexes of the Mantiqueira and Espinhaço Range). *Floresta Ambient* 10:76-85
- Benites VM, Mendonça ES, Schaefer CEGR, Novotny EH, Reis EL, Ker JC (2005) Properties of black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil. *Geoderma* 127:104-113
- Benites VM, Schaefer CEGR, Simas FNB, Santos HG (2007) Soil associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. *Rev Bras Bot* 30:569-577

³**Acknowledgements** –We would like to thank to SAMARCO S.A. for permitting this research, FAPEMIG, for the financial support CRA - APQ-00601-08, Jorge L. Silva, Auria Tonaco and Eduardo Ataíde for field assistance.

Broadley MR, Willey NJ, Wilkins JC, Baker AJM, Mead A, White PJ (2001) Phylogenetic variation in heavy metal accumulation in angiosperms. *New Phytol* 152:9-27

Brooks RR (1998) *Plants that hyperaccumulate heavy metals, their role in phytoremediation, microbiology, archeology, mineral exploration and phytomining*. CAB Internat, New York

Conceição AA, Giulietti AM (2002) Composição florística e aspectos estruturais de campo rupestre em dois platôs no Morro do Pai Inácio, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil (Floristic composition and structural aspects of rocky outcrops on two plateaus in Pai Inácio Hill, Chapada Diamantina, Bahia, Brazil). *Hoehnea* 29:37-48

Conceição AA, Pirani JR (2005) Delimitação de habitats em campos rupestres na Chapada Diamantina, Bahia: substratos, composição florística e aspectos estruturais (Delimitation of habitats in rocky outcrops in the Chapada Diamantina, Bahia: substrates, floristic composition and structural aspects). *Bol Bot* 23:85-111

Conceição AA, Pirani JR, Meirelles ST (2007) Floristics, structure and soil of insular vegetation in four quartzite-sandstone outcrops of “Chapada Diamantina”, Northeast Brazil. *Rev Bras Bot* 30:641-656

Correa TL (2006) *Bioacumulação de metais pesados em plantas nativas a partir de suas disponibilidades em rochas e sedimentos: o efeito na cadeia trófica (Heavy metal bioaccumulation in native plants from soil and sediments: the effect in the trophic chain)*. MSc Thesis, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brazil

Dorr II JVN (1969) *Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero*. Professional Paper, US Geological Survey 641-A, Washington

Drummond GM, Martins CS, Machado ABM, Sebaio FA, Antonini Y (2005) *Biodiversidade em Minas Gerais - Um atlas para sua conservação (Biodiversity of Minas Gerais – An atlas for its conservation)*. Ed. 2, Fundação Biodiversitas, Belo Horizonte, Brazil

EMBRAPA (1997) *Manual de métodos de análises de solo (A Handbook of Soil analysis methodology)*. Ed. 2, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, Brazil

EMBRAPA (1999) *Sistema brasileiro de classificação de solos (Brazilian system of soil classification)*. EMBRAPA, Rio de Janeiro, Brazil

Fernandes GW, Rodarte LHO, Negreiros D, Franco AC (2007) Aspectos nutricionais em *Baccharis concinna* (Asteraceae), espécie endêmica e ameaçada da Serra do Espinhaço, Brasil (Nutritional aspects of *Baccharis concinna* (Asteraceae), a threatened and endemic species of the Espinhaço Range, Brazil). *Lundiana* 8:83-88

- FAO (1998) *World reference base for soil resources*. World Soil Resources Report 84, FAO/ISRIC/ISSS, Rome
- Folk RL, Ward WC (1957) Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *J Sediment Petrol* 27:3-26
- Folk RL (1980) *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Co, Austin.
- Giulietti AM, Pirani JR, Harley RM (1997) Espinhaço Range region, Eastern Brazil. In Davis SD, Heywood VH, Herrera-MacBryde O, Villa-Lobos J, Hamilton AC (eds) *Centres of Plant Diversity: A Guide and Strategy for Their Conservation*, Vol. 3. *The Americas*, WWF/IUCN Publications Unit, Cambridge, pp 397–404
- Gonçalves-Alvim SJ, Fernandes GW (2001) Biodiversity of galling insects: historical, community and habitat effects in four neotropical savannas. *Biodivers Conserv* 10:79-98
- Haridasan M (1982) Aluminium accumulation by some cerrado native species of central Brazil. *Plant Soil* 65:265–273
- Harley RM, Simons NA (1986) *Florula of Mucugê: Chapada Diamantina - Bahia, Brazil*. Royal Botanic Gardens, UK
- Hazelton P, Murphy H (2007) *Interpreting soil test results*. CSIRO Publishing, Melbourne
- Jacobi CM, Carmo FF, Vincent RC, Stehmann JR (2007) Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. *Biodivers Conserv* 16:2185-2200
- Jacobi CM, Carmo FF (2008) Diversidade dos campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, MG (Diversity of ferruginous rocky outcrops in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais State, Brazil). *Megadiversidade* 4:24-32
- Jansen S, Watanabe T, Smets E (2002) Aluminium accumulation in leaves of 127 species in Melatomataceae, with comments on the order Myrtales. *Ann Bot-London* 90:53-64
- Malavolta E (2006) *Manual de nutrição mineral de plantas (Handbook of mineral plant nutrition)*. Ceres, São Paulo, Brazil
- Matsushi Y, Hattanji T, Matsukura Y (2006) Mechanisms of shallow landslides on soil-mantled hillslopes with permeable and impermeable bedrocks in the Boso Peninsula, Japan. *Geomorphology* 769:92-108
- McCune B, Mefford MJ (1999) *PCOrd - Multivariate analysis of ecological data, Version 4*. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon
- Meguro M, Pirani JR, Giulietti AM, Mello-Silva R (1994) Phytophysiology and composition of the vegetation of Serra do Ambrósio, Minas Gerais, Brazil. *Rev Bras Bot* 17:149-66

Mourão A, Stehmann JR (2007) Levantamento da flora do campo rupestre sobre canga hematítica couraçada remanescente na mina do Brucutu, Barão de Cocais, Minas Gerais, Brasil (Floristic inventory of the remaining rocky outcrop over ferruginous crust at the Brucutu Mine, Barão de Cocais, Minas Gerais, Brazil). *Rodriguésia* 58:775-86

Mueller-Dombois D, Ellenberg H (1974) *Aims and methods of vegetation ecology*. Willey and Sons, New York

Negreiros D, Moraes MLB, Fernandes GW (2008) Caracterização da fertilidade dos solos de quatro leguminosas de campos rupestres, Serra do Cipó, MG, Brasil (Characterization of soil fertility of four leguminous shrubs of rocky outcrops, Serra do Cipó, MG, Brazil). *Rev Cienc Suelo Nutr* 8:30-9

Nimer E (1989) *Climatologia do Brasil (Climatology of Brazil)*. IBGE, Rio de Janeiro

Nunes JA (2009) *Florística, estrutura e relações solo-vegetação em gradiente fitofisionômico sobre canga, na Serra Sul, Flona de Carajás - Pará (Floristics, structure and soil-vegetation relationship along a phytophysionomic gradient on Canga at Serra Sul, Carajás National Forest, PA, Brazil)*. MSc Thesis, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brazil

Oliveira SHF, Negreiros D, Fernandes GW, Barbosa NP, Rocha R, Almeida-Cortez JS (2009) Seedling growth of the invader *Calotropis procera* in ironstone rupestrian field and seasonally dry forest soils. *Neotrop Biol Conserv* 4:69-76

Oliveira Junior AC, Faquin V, Pinto JEBP (2006) Efeitos de calagem e adubação no crescimento e nutrição de arnica (Effects of liming and fertilization on growth and nutrition of *Lychnophora ericoides*). *Hortic Bras* 24:347-351

Queiroz LP, Sena TSN, Costa MJSL (1996) Flora vascular da Serra da Jibóia, Santa Terezinha-Bahia. I: O Campo Rupestre (Vascular flora of the Serra da Jibóia, Santa Terezinha-Bahia, Brazil. I. Rocky outcrops). *Sitientibus* 15:27-40

R Development Core Team (2008) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, AU. Available at: <http://www.r-project.org/>

Reeves RD, Baker AJM, Becquer T, Echevarria G, Miranda ZJG (2007) The flora and biogeochemistry of the ultramafic soils of Goiás State, Brazil. *Plant Soil* 93:107-19

Rizzini CT (1997) *Tratado de fitogeografia do Brasil (Phytogeography of Brazil)*. Âmbito Cultural, Rio de Janeiro

Sarmiento FO (2002) Human drivers of landscape change: treelines dynamics in neotropical montology. *Ecotropicos* 15:129-146

Silva MFF (1992) Distribuição de metais pesados na vegetação metalófila de Carajás (Heavy metals distribution in metalliferous vegetation of Carajás, Brazil). *Acta Bot Bras* 6:107-122

Silva AC, Horák I, Cortizas AM, Vidal-Torrado P, Racedo JR, Graziotti PH, Silva EB, Ferreira CA (2009) Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional - MG. I - Caracterização e classificação (Peat bogs of the Serra do Espinhaço meridional – Minas Gerais, Brazil. I - Characterization and classification). *Rev Bras Cienc Solo* 33:1385-1398

Soeltl TM (2009) *Caracterização edáfica e vegetacional de espécies de Eremanthus (Asteraceae) sob litotipos distintos na Floresta Estadual do Uaimí - MG (Edaphic factors and vegetational characterization of Eremanthus species (Asteraceae) in two different lithologies of Uaimii State Forest, Minas Gerais, Brazil)*. MSc Thesis, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brazil

Sousa HC (1997) *Estudo comparativo de adaptações anatômicas em órgãos vegetativos de espécies de Lavoisiera DC. (Melastomataceae) da Serra do Cipó, MG (Comparative studies of anatomical adaptations of vegetative organs of Lavoisiera species (Melastomataceae) of the Serra do Cipó, Minas Gerais, Brazil)*. PhD Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil

Sparovek G, Camargo O (1997) Sampling strategies for tropical forest nutrient cycling studies: a case study in São Paulo, Brazil. *Rev Bras Cienc Solo* 21:635-642

Statsoft, Inc. (2001) *Statistica (Data analysis software system), version 6*. Tulsa, US

Suguio K (1973) *Introdução a sedimentologia (Introduction to the sedimentology)*. Edgard Blucher, São Paulo, Brazil

Teixeira WA, Lemos-Filho JP (1998) Metais pesados em folhas de espécies lenhosas colonizadoras de uma área de mineração de ferro em Itabirito, Minas Gerais (Heavy metals in leaves of woody colonizer species of an iron mining area in Itabirito, Minas Gerais, Brazil). *Rev Arvore* 22:381-388

Teixeira WA, Lemos-Filho JP (2002) Fatores edáficos e a colonização de espécies lenhosas em uma cava de mineração de ferro em Itabirito, Minas Gerais (Edaphic factors and colonization of woody species in an iron mining pit in Itabirito, Minas Gerais, Brazil). *Rev Arvore* 26:25-33

Ter Braak CJF (1995) Ordination. In Jongman RHG, Ter Braak CJF, Van Tongeren OFR (eds) *Data analysis in community and landscape ecology*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, pp 91-173

Tomé-Junior JB (1997) *Manual para interpretação de análise de solo (Handbook of soil analysis interpretation)*. Agropecuária, Brazil

UNESCO (2005) *Latin America The world network of biosphere reserves & Caribbean*. Available at: <http://www.unesco.org/mabdb/br/brdir/directory/biores.asp?mode=all&code=BRA+06>

USDA (1998) *Keys to soil taxonomy*. United States Department of Agriculture, New York

Venturin N, Souza PA, Macedo RLG (2005) Adubação mineral da candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeish) (Mineral fertilization of candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeish)). *Floresta* 35:211-219

Viana PL, Lombardi JA (2007) Florística e caracterização dos campos rupestres sobre canga na Serra da Calçada, Minas Gerais, Brasil (Floristics and characterization of the ferruginous rocky grasslands at Serra da Calçada, Minas Gerais State, Brazil). *Rodriguésia* 58:159-177

Vincent RC (2004) *Florística, fitossociologia e relações entre a vegetação e o solo em áreas de campos ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais (Floristic composition, phytosociology and soil-vegetation relationship in ferruginous rocky outcrops in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil)*. PhD Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil

Vincent RC, Meguro MM (2008) Influence of soil properties on the abundance of plants species in ferruginous rocky soils vegetation, southeastern Brazil. *Rev Bras Bot* 3:377-388

Vitta FA (1995) *Composição florística e ecologia de comunidades campestres na Serra do Cipó, Minas Gerais (Floristic composition and ecology of grassland communities of the Serra do Cipó, Minas Gerais, Brazil)*. MSc Thesis, Universidade de São Paulo, Brazil

Westhoff V, Maarel E (1978) The Braun-Blanquet approach. In Whittaker RH (ed) *Classification of plant communities*. Dr. W. Junk, Netherlands, pp 289-374

Zar JH (1999) *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, New Jersey

CAPÍTULO 7 CONCLUSÕES

Ao final dos trabalhos foi possível traçar as seguintes considerações finais:

- I. A geologia e as geformas determinam a distribuição de algumas populações, afetando a composição florística e a estrutura da vegetação das comunidades de campos rupestres.
- II. Algumas populações de espécies foram mais dominantes em habitats com maior teor de metais, sugerindo a existência de mecanismos fisiológicos para tolerância a estes elementos.
- III. Os campos limpos sobre quartzito são mais diversos do que aqueles sobre itabirito, provavelmente pelas maiores restrições do ambiente desses últimos.
- IV. O espectro biológico é influenciado pela geologia e geomorfologia. As formas de vida mais bem representadas nos campos rupestres analisados são fanerófitas e hemicriptófitas. No entanto, os campos sobre itabirito possuem maior proporção de fanerófitas e menor proporção de hemicriptófitas do que aqueles sobre quartzito. Espectros de vegetação são mais eficientes para comparações de áreas menores do que espectros florísticos.
- V. As propriedades físicas e químicas dos solos de campos rupestres são influenciadas pelo material de origem e pelas geformas. O solo sobre itabirito é mais pedregoso, com maior proporção de matações, calhaus e cascalhos e possui menor teor de terra fina. Além disso, de uma forma geral, os solos derivados dos itabiritos possuem maior teor de cátions metálicos que aqueles derivados dos quartzitos. Os patamares sobre itabirito diferem substancialmente daqueles sobre quartzito. Nos patamares sobre quartzitos, o solo é arenoso e contínuo, com raros afloramentos rochosos, enquanto que nos itabiritos há muitas rochas aflorantes e o solo é relativamente mais raso.
- VI. A geforma é um forte determinante das características dos solos de campos rupestres. Nos patamares e vales sobre quartzitos ocorre a formação de solo mais espesso e contínuo pela deposição de partículas provenientes das porções mais altas dos perfis, formando solos arenosos coluvionares. Nos itabiritos observou-se a erosão da camada laterítica nas porções mais altas dos perfis, expondo a rocha subjacente e os solos são rasos. Os patamares dessa mesma litologia, nas meias-encostas, apresentaram afloramentos de canga, com solos igualmente muito rasos. Os vales e depressões nas porções mais baixas ou côncavas dos perfis apresentaram solo coluvionar mais profundo que os outros habitats sobre este litotipo.
- VII. Solos mais profundos permitem o estabelecimento de espécies de maior porte, levando a formação dos campos sujos.
- VIII. Solos dos campos sujos sobre quartzito são relativamente mais profundos e possuem maior teor de alumínio e matéria orgânica do que os campos limpos sobre esta mesma litologia. A

alta correlação encontrada entre os teores de matéria orgânica e teor de alumínio sugere a origem orgânica desse elemento, advindo da serrapilheira formada por espécies acumuladoras desse elemento.

- IX. Nem todo campo rupestre ferruginoso se encontra recoberto por canga, portanto a designação “campos de canga” não pode ser generalizada a todos estes ambientes.
- X. A similaridade florística encontrada entre campos rupestres quartzíticos e ferruginosos apresenta índices semelhantes aos encontradas entre campos da mesma litologia. Portanto, num contexto fitogeográfico, os campos ferruginosos podem ser considerados como campos rupestres, assim como sugerido originalmente por Semir (1991) e posteriormente modificado, dentre outros, por Vincent & Meguro (2008), acrescentando-se a denominação da rocha aflorante.
- XI. Comparando diversos levantamentos de campos rupestres no Quadrilátero Ferrífero observou-se que alguns campos rupestres próximos sobre diferentes litologias mostraram-se mais similares do que campos rupestres distantes sobre o mesmo litotipo. Estes resultados sugerem que a distância geográfica seja um importante fator na determinação da similaridade florística dos campos rupestres.
- XII. Analisando os estudos realizados em diferentes áreas de campos rupestres no Quadrilátero Ferrífero, observou-se uma grande variação das características dos solos e da flora, que exhibe grande proporção de espécies ameaçadas, raras e endêmicas, de distribuição altamente restrita. Isto evidencia a necessidade de implantação de novas unidades de conservação, em especial daquelas contemplando os campos ferruginosos, uma vez que existem muito poucas unidades incluindo este ecossistema altamente ameaçado.
- XIII. Devido ao grande impacto das atividades de mineração sobre os campos ferruginosos, há a necessidade urgente de maiores estudos florísticos nos campos rupestres do Quadrilátero Ferrífero visando um estudo mais detalhado da sua flora, da distribuição geográfica das espécies assim como estudos ecológicos visando contribuir com a preservação e recuperação dessas áreas. O conhecimento escasso e a ausência de políticas ambientais consistentes e eficazes podem levar a uma rápida e irremediável perda de biodiversidade em Minas Gerais.

Referências

- Adamson R.S. 1939. The classification of life-forms of plants. *Botanical Review*, **5**:546-561.
- Aidar S.T., Meirelles, S.T., Pocius O., Delitti W.B.C., Souza, G.M., Gonçalves A.N. 2010. Desiccation tolerance in *Pleurostima purpurea* (Velloziaceae). *Plant Growth Regulation*, **62**:193-202.
- Alkmim F.F. & Marshak S. 1998. Transamazonian orogeny in the southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, **90**:29-58.
- Allan H.H. 1937. A consideration of the “biological spectra” of New Zealand. *Journal of Ecology*, **25**:116-152.
- Almeida F.F.M. 1977. O Cráton São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, **7**:349-364.
- Almeida F.F.M. & Lima M.S. 1959. *Planalto Centro-ocidental e Pantanal Mato-grossense*. Rio de Janeiro, Conselho Nacional de Geografia, 169p.
- Alvarez-Venegas V.H., Novais R.F., Barros N.F., Cantarutti R.B., Lopes A.S. 1999. Interpretação dos resultados das análises de solos (Interpretation of Soil Analysis Results). In: A.C. Ribeiro, P.T.G. Guimarães, V.H. Alvarez-Venegas (Eds.) *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. Ed. 5, Viçosa, CFSEMG, p.: 25-32
- Alves R.J.V. & Kolbek J. 2009. Summit vascular flora of Serra de São José, Minas Gerais, Brazil. *Check List*, **5**:35-73.
- Alves R.J.V. & Kolbek J. 2010. Vegetation strategy of *Vellozia crinita* (Velloziaceae). *Biologia*, **65**:254-264.
- Andrade P.M., Gontijo T.A., Grandi T.S.M. 1986. Composição florística e aspectos estruturais de uma área de Campo Rupestre do Morro do Chapéu, Nova Lima, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Botânica*, **9**:13-21.
- Antonovics J., Bradshaw A.D., Turner R.G. 1971. Heavy metal tolerance in plants. *Advances in Ecological Research*, **7**:1-85.
- APG (Angiosperm Phylogeny Group). 2009. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, **161**:105-121.
- Baltazar O.F., Baars F.J., Lobato, L.M. Reis, L.B., Achtschin A.B., Berni G.V., Silveira V.D. 2005. Mapa Geológico na Escala 1:50.000 com Nota Explicativa. In: L. M. Lobato (Coord.) *Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa*. Belo Horizonte, CODEMIG. Disponível em: http://www.comig.com.br/site/content/parcerias/levantamento_aerogeofisico.asp?id=30&idSubPrj=49. Acessado em 2 fev. 2011.
- Barthlott W. & Porembski S. 2000. Vascular plants on inselbergs: systematic overview. In: S. Porembski & W. Barthlott (eds.) *Inselbergs – biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions*. *Ecological Studies*. v.146, Berlin, Springer-Verlag, p.: 103-116.
- Batalha M.A. & Martins F.R. 2002. Biological spectra of cerrado sites. *Flora*, **197**:452-460.
- Batalha M.A. & Martins F.R. 2004. Floristic, frequency and vegetation life-form spectra of a cerrado site. *Brazilian Journal of Biology*, **64**:203-209.
- Bazzaz F.A. & Morse S.R. 1991. Annual plants: potential responses to multiple stresses. In: A. Mooney, W.E. Winner, E.J. Pel (eds.) *Response of plants to multiple stresses*. London, H. Academic Press, p.:283-305.
- Begon M., Harper J.L., Townsend C.R. 1996. *Ecology: individuals, populations and communities*. 3ed. Oxford, Blackwell, 1068p.
- Benites V.M. 2001. *Caracterização de solos e de substâncias húmicas em áreas de vegetação rupestre de altitude*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, 71p.
- Benites V.M., Caiafa AN., Mendonça E.S., Schaefer C.E., Ker J.C. 2003. Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. *Floresta e Ambiente*, **10**:76-85.
- Benites V.M., Mendonça E.S., Schaefer C.E.G.R., Novotny E.H., Reis E.L., 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. Soil associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. *Revista Brasileira de Botânica*, **30**:569-577.
- Berendse F. & Elberse W.T. 1990. Competition and nutrient availability in heathland and grassland ecosystems. In: J. Grace & D. Tilman (eds.) *Perspectives on plant competition*. New York, Academic Press, p.:93 -116.
- Braakhekke W.G. 1980. *On Coexistence: A Causal Approach to Diversity and Stability in Grassland Vegetation*. Agricultural Research Reports v.902. Wageningen, The Netherlands, 164p.
- Brandão M. & Gavilanes M.L. 1990. Mais uma contribuição para o conhecimento da Cadeia do Espinhaço em Minas Gerais, Serra da Piedade - II. *Daphne*, **1**:26-43.
- Brandão M., Gavilanes M.L., Laca-Buendia J.P, Macedo J.F., Cunha L.H.S. 1991. Contribuição para o conhecimento da Cadeia do Espinhaço em Minas Gerais (Serra de Itabirito) - III. *Daphne*, **1**:39-41.
- Brandão M. & Silva Filho P.V. 1993. Os campos rupestres no município de Barão de Cocais, MG. *Daphne*, **3**:11-20.
- Broadley M.R., Willey N.J., Wilkins J.C., Baker A.J.M., Mead A., White P.J. 2001. Phylogenetic variation in heavy metal accumulation in angiosperms. *New Phytologist*, **152**:9-27.
- Brooks R.R. 1998. *Plants that hyperaccumulate heavy metals, their role in phytoremediation, microbiology, archeology, mineral exploration and phytomining*. New York, CAB Internat, 380p.
- Brown K.S. 1987. Soils and vegetation. In: T.C. Whitmore & G.T. Prance (eds.). *Biogeography and Quaternary History in Tropical America*. Oxford, Clarendon Press, p.: 19-45.
- Caiafa A. N. 2004. Unidades de conservação em Campos de Altitude e Campos Rupestres. Viçosa. In: Congresso Nacional de Botânica, 55, Cd-Rom dos simpósios, palestras e mesas redondas.
- Caiafa N.A. & 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**:163-173.
- Cain S.A. 1950. Life-forms and phytoclimate. *The Botanical Review*, **16**:1-32.
- Carvalho Filho A., Curi N., Shinzato E. 2010. Relações solo-paisagem no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **45**:903-916.
- Castro E.C.C. & Ferreira J.E. 1997. *Aspectos estratigráficos, sedimentares e estruturais dos sedimentos cenozóicos da borda leste do Quadrilátero Ferrífero entre Santa Rita Durão e Fonseca, Minas Gerais*. Monografia de graduação, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 49p.
- Chevalier A. 1928. Sur l'origine des campos brésiliens et sur le rôle des Imperata dans la substitution des savanes aux forêts tropicales. *Les Comptes Rendus de l'Académie des sciences*, **187**:1-3.
- Conceição A.A. & Giulietti A.M. 2002. Composição florística e aspectos estruturais de campo rupestre em dois platôs no Morro do Pai Inácio, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. *Hoehnea*, **29**:37-48.
- Conceição A.A. & Pirani J.R. 2005. Delimitação de habitats em campos rupestres na Chapada Diamantina, Bahia: substratos, composição florística e aspectos estruturais. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo*, **23**:85-111.
- Conceição A.A. & Pirani J.R. 2007. Diversidade em quatro áreas de campos rupestres na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil: espécies distintas, mas riquezas similares. *Rodriguésia*, **58**:193-206.
- Conceição A.A., Giulietti A.M., Meirelles S.T. 2007a. Ilhas de vegetação em afloramentos de quartzito-arenito no Morro do Pai Inácio, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, **21**:335-347.
- Conceição A.A., Pirani J. R., Meirelles S.T. 2007b. Floristics, structure and soil of insular vegetation in four quartzite-sandstone outcrops of "Chapada Diamantina", Northeast Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, **30**:641-656.
- COPAM 1997. *Lista das espécies ameaçadas de extinção da flora do Estado de Minas Gerais*. Deliberação COPAM 085/97. Disponível em: <http://www.biodiversitas.org.br/florabr/MG-especies-ameacadas.pdf>. Acessado em 18 fev. 2010.
- Correa T.L. 2006. *Bioacumulação de metais pesados em plantas nativas a partir de suas disponibilidades em rochas e sedimentos: o efeito na cadeia trófica*. Ouro Preto. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 143p.

- DNPM. 2010. *Sumário mineral 2009*. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral. Disponível em: http://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=4544. Acessado em 26 ago. 2010.
- Dorr J.V.N. 1969. *Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero*. Professional Paper 641-A, Washington, USGS/DNPM, 110p.
- Dorr J.V.N., Gair J.E., Pomerone J.B. & Rynearson G.A. 1957. *Revisão Estratigráfica Pré-Cambriana do Quadrilátero Ferrífero*. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM, 36p.
- Drummond G.M., Martins C.S., Machado A.B.M., Sebaio F.A., Antonini Y. 2005. *Biodiversidade em Minas Gerais - Um atlas para sua conservação*. 2ed. Belo Horizonte, Fundação Biodiversitas, 222p.
- Dutra V.F. 2005. *Levantamento de Leguminosae Adans. nos Campos Rupestres do Parque Estadual do Itacolomi, MG: florística, preferência por habitat, aspectos reprodutivos e distribuição geográfica*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, 171p.
- Eiten G. 1977. Delimitação do conceito de Cerrado. *Arquivos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro*, **21**:125-134.
- Eiten G. 1983. *Classificação da vegetação do Brasil*. Brasília, CNPq, 305p.
- Ellenberg H. & Mueller-Dombois D. 1967. A key to Raunkiaer plant life forms with revised subdivisions. *Berichte des Geobotanischen Institutes der eidg. Techn.Hochschule Stiftung Rübel*, **37**:56-73.
- EMBRAPA. 1997. *Manual de métodos de análises de solo*. 2ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA, 212p.
- EMBRAPA 1999. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, EMBRAPA, 412p.
- Eschwege W. L. V. 1833. *Pluto Brasiliensis*. Berlin, Verlag, 622p.
- FAO 1998. *World reference base for soil resources*. World Soil Resources Report 84, Roma, FAO/ISRIC/ISSS. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/w8594e/w8594e00.htm>. Acessado em 05 set. 2009.
- Fernandes G.W., Rodarte L.H.O., Negreiros D., Franco A.C. 2007. Aspectos nutricionais em *Baccharis concinna* (Asteraceae), espécie endêmica e ameaçada da Serra do Espinhaço, Brasil. *Lundiana*, **8**:83-88.
- Ferreira M.B., D'Assumpção W.R.C., Magalhães G.M. 1977. Nova contribuição para o conhecimento da vegetação da Cadeia do Espinhaço ou Serra Geral (Maciço do Caraça). *Oréades*, **10**:49-67.
- Ferri M.G. 1980. *Vegetação Brasileira*. São Paulo, Editora da Universidade São Paulo, 157p.
- Folk R.L. 1980. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin, Hemphill Publishing Co., 182p.
- Folk R.L. & Ward W.C. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, **27**:3-26.
- Gaff D.F. 1977. Desiccation tolerance vascular plants of Southern Africa. *Oecologia*, **31**:95-109.
- Gaff D.F. 1987. Desiccation tolerant plants in South America. *Oecologia*, **74**:133-136.
- Gaston K.J. 1994. *Rarity*. London, Chapman & Hall, 205p.
- Gavilanes M.L., Brandão M., Pereira S.C. 1990. Subsídios para o conhecimento da vegetação da Reserva Biológica de Poço Bonito, Lavras, MG. In: Congresso Nacional de Botânica, 36, Curitiba, 1985. *Anais*, p.:539-543.
- 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 das Espécies. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo*, **9**:1-151.
- Giulietti A.M. & Pirani J.R. 1988. Patterns of geographical distribution of some plant species from Espinhaço range, Minas Gerais and Bahia, Brazil. In: P.E. Vanzolini & W.R. Heyer (eds.) *Proceedings of a workshop on Neotropical distribution patterns*. Rio de Janeiro, Academia Brasileira de Ciências. p.:39-69.
- 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 Strategy for Their Conservation*, Vol. 3. *The Americas*. Cambridge, WWF/IUCN Publications Unit, p.:397-404.
- Giulietti A.M., Harley R.M., Queiroz L.P., Wanderley M.G.L., Pirani, J.R. 2000. Caracterização e endemismos nos campos rupestres da cadeia do espinhaço. In: T.B Cavalcanti & B.M.T. Walter (org.) *Tópicos atuais em*

- botânica: Palestras convidadas do 51º Congresso Nacional de Botânica*. Brasília, EMBRAPA Recursos Genéticos e Biotecnologia/Sociedade Botânica do Brasil, p.:311-318.
- Gonçalves-Alvim S.J. & Fernandes G.W. 2001. Biodiversity of galling insects: historical, community and habitat effects in four neotropical savannas. *Biodiversity and Conservation*, **10**:79-98
- Gontijo B.M. 2008. Uma geografia para a Cadeia do Espinhaço. *Megadiversidade*, **4**:7-15.
- Greig-Smith P. 1983. *Quantitative plant ecology*. 3ed. Oxford, Blackwell, 359p.
- Griffith J. & Toy T.J. 2001. Evolution in revegetation of iron-ore mines in Minas Gerais State, Brazil. *Unasylva*, **52**:9-15.
- Grime J.P. 1979. *Plant Strategies and Vegetation Processes*. UK, John Wiley and Sons, 222p.
- Guarçoni E.A.E. 2008. *Bromeliaceae Juss. no Parque Estadual da Serra do Rola-Moça, Minas Gerais, Brasil: Florística, distribuição e aspectos reprodutivos de Andrea selloana (Baker) Mez*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, 126p.
- Hader E.C. & Chamberlin R.T. 1915. The geology of Central Minas Gerais. *Journal of Geology*, **23**:341-424.
- Hagerup O. 1930. Étude des types biologiques de Raunkiaer dans la flore autour de Tombouctou. *Danske Videnskaberne Selskab Bioogiske Meddelelser*, **9**:1-116.
- Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. 2001. PAST: Palaeontological Statistics software package for education and data analysis. Version 2.04. **Paleontologia electronica** **4**. 9p. Disponível em: <http://folk.uio.no/ohammer/past>. Acessado em 25 out. 2010.
- Haridasan M. 1982. Aluminium accumulation by some cerrado native species of central Brazil. *Plant Soil*, **65**:265-273.
- Harley R.M. & Simmons N.A. 1986. *Florula of Mucugê: Chapada Diamantina - Bahia, Brazil*. UK, Royal Botanic Gardens, 228p.
- Harley R.M. 1995. Introdução. In: B. L. Stannard (ed.) *Flora of the Pico das Almas, Chapada Diamantina - Bahia, Brazil*. Kew, Royal Botanic Gardens. p.:43-76.
- Harrison S.P., Prentice I.C., Barboni D., Kohfeld K.E., Ni J., Sutra J.P. 2010. Ecophysiological and bioclimatic foundations for a global plant functional classification. *Journal of Vegetation Science*, **21**:300-317.
- Hazelton P. & Murphy H. 2007. *Interpreting soil test results*. Melbourne, CSIRO Publishing, 160p.
- Hoehne F.C. 1923 *Fitofisionomia do Estado do Mato Grosso e ligeiras notas a respeito da composição e distribuição da sua flora*. São Paulo, Melhoramentos, 104p.
- Houdijk A.L.F.M., Verbeek P.J.M., Van Dijk H.F.G., Roelofs J.G.M. 1993. Distribution and decline of endangered herbaceous heathland species in relation to the chemical composition of the soil. *Plant and Soil*, **148**:137-143.
- Howard-Williams C. 1970. The ecology of *Becium hombley* in Central Africa with special reference to metalliferous soils. *Journal of Ecology*, **58**:745-763.
- IEF 2008. *Identificação de áreas prioritárias para implantação de sistemas de áreas protegidas e corredores ecológicos no setor sul da região metropolitana de Belo Horizonte*. Série Meio Ambiente. V1. AMDA / Instituto Estadual de Florestas – IEF. Disponível em: http://www.redeapasul.com.br/conheca_a_apa_sul_biodiversidade/corredores.pdf. Acessado em 08 dez. 2010.
- 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. 2008. Diversidade dos campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, MG. *Megadiversidade*, **4**:24-32.
- Jacobi C.M., Carmo F.F., Vincent R.C. 2008. Estudo fitossociológico de uma comunidade vegetal sobre canga como subsídio para a reabilitação de áreas mineradas no Quadrilátero Ferrífero, MG. *Revista Árvore*, **32**:345-353.
- Jansen S., Watanabe T., Smets E. 2002. Aluminium accumulation in leaves of 127 species in Melastomataceae, with comments on the order Myrtales. *Annals of Botany*, **90**:53-64.

- Jongman R.H.G., Ter Braak C.J.F., van Tongeren O.F.R. 1995. *Data analysis in community and landscape ecology*. Cambridge, Cambridge University Press, 324p.
- Koerselman W. & Meuleman A.F.M. 1996. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *Journal of applied Ecology*, **33**:1441-1450.
- Lana C.M. 2010. *Influência de níveis de base nas características morfo-sedimentares das bacias dos rios das Velhas e Jequitaiá (MG)*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Ouro Preto, 227p.
- Lemes F.O.A. 2009. *Relações florísticas, fitossociológicas e aspectos edáficos de comunidades de campos rupestres da Serra do Itacolomi e Serra de Ouro Branco, Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, 95p.
- Lima H.M., Flores J.C.C., Costa F.L. 2006. Plano de recuperação de áreas degradadas versus plano de fechamento de mina: um estudo comparativo. *Revista da Escola de Minas*, **59**:397-402.
- Lindman C.A.M. 1906. *A vegetação no Rio Grande do Sul*. Trad. A. Loefgren, Porto Alegre, Universal, 356p.
- Lloyd J., Syvertsen J.P., Kriedemann P.E., Farquhar G.D. 1992. Low conductances for CO₂ diffusion from stomata to the sites of carboxylation in leaves of woody species. *Plant Cell & Environment*, **15**:873-899.
- Loabato L.M., Baltazar O.F., Reis L.B., Achtschin A.B., Baars F.J., Timbó M.A., Berni G.V., Mendonça B.R.V., Ferreira D.V. 2005. *Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa*. Belo Horizonte, CODEMIG (CD-ROM).
- Löefgren A. 1890. Contribuições para a botânica paulista. Região campestre. *Boletim da Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo*, **5**:3-51.
- Löefgren A. 1898. Ensaio para uma distribuição dos vegetais nos diversos grupos florísticos no Estado de São Paulo. *Boletim da Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo*, **11**:3-50.
- Lomolino M.V., Riddle B.R., Brown J.H. 2005. *Biogeography*. 3ed. Sunderland, Sinauer Associate Inc., 845p.
- Lopes A.J. & Cox F.R. 1977. Cerrado vegetation in Brazil: an edaphic gradient. *Agronomy Journal*, **69**:828-831.
- MacArthur R.H. & Wilson E.O. 1967. *The theory of island biogeography*. Princeton, Princeton University Press.
- Machado N., Noce C.M., Ladeira E.A., Oliveira O.A.B. 1992. U/Pb geochronology of Archean magmatism and proterozoic metamorphism In the Quadrilátero Ferrífero, Southern São Francisco Craton, Brazil. *Geological Society of America Bulletin*, **104**:1221-1227.
- Machado N., Schrank A., Noce C.M., Gaultier G. 1996. Ages of detrital zircon from Archean-Paleozoic: Implications for Greenstone Belt setting an evolution of a Transamazonian foreland basin. Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil. *Earth and Planetary Science Letters*, **41**:259-276.
- Magalhães G.M. 1954. Contribuição para o conhecimento da flora dos campos alpinos de Minas Gerais. In: Congresso Nacional de Botânica, 5, Porto Alegre, *Anais*, p.:227-304.
- Magalhães G.M. 1956. Características de alguns tipos florísticos de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Biologia*, **1**:76-92.
- Magalhães G.M. 1966. Sobre os cerrados de Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **38**:59-69.
- Magalhães G.M., Brandão M., Badini J., Santos A.K.O., Zurlo M.A. 1986. Contribuição para conhecimento da vegetação da Cadeia do Espinhaço (Serra Geral) - Maciço do Caraça e adjacências. In: Congresso Nacional de Botânica, 37, Ouro Preto, 1986, SBB/UFOP, *Anais*, p.: 395-425.
- Magurran A.E. 2004. *Measuring biological diversity*. Oxford, Blackwell Science, 264p.
- Malavolta E. 2006. *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo, Ceres, 638p.
- Matsushi Y., Hattajji T., Matsukura Y. 2006. Mechanisms of shallow landslides on soil-mantled hillslopes with permeable and impermeable bedrocks in the Boso Peninsula, Japan. *Geomorphology*, **769**:92-108.
- Maxwell C.H. 1972. *Geology and Ore Deposits of the Alegria District, MG, Brazil. Mapas e perfis geológicos*. Professional Paper 341-J, Washington, DNPM/USGS, 72p.
- McCrea A.R., Trueman I.C., Ferlen M.A., Atkinson M.A., Besenyei L. 2001. Relationship between soil characteristics and species richness in two botanically heterogeneous created meadow in the urban English West Midlands. *Biological Conservation*, **97**:171-180.

- McCune B. & Mefford M.J. 1999. *PCOrd - Multivariate analysis of ecological data, Version 4*. Glenden Beach, Oregon, MjM Software Design.
- Meguro M., Joly C.A., Bittencourt M.M. 1977. Stress hídrico e alguns aspectos do comportamento fisiológico em *Xerophyta plicata* Spreng. - Velloziaceae. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo*, **5**:27-42.
- Meguro M., Pirani J.R., Giulietti A.M., Mello-Silva R. 1994. Phytophysiology and composition of the vegetation of Serra do Ambrósio, Minas Gerais, Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, **17**:149-166.
- Meirelles S.T., Mattos E.A., Silva A.C. 1997. Potential desiccation tolerant vascular plants from Southeastern Brazil. *Polish Journal of Environmental Studies*, **6**:17-21.
- Meirelles S.T., Pivello V.R., Joly C.A. 1999. The vegetation of granite rock outcrops in Rio de Janeiro, Brazil, and the need for its protection. *Environmental Conservation*, **26**:10-20.
- Mello C.L., Sant'Anna L.G., Bergqvist L.P. 2000. Sítio Paleontológico de Fonseca, Minas Gerais (Vegetais Fósseis do Terciário Brasileiro). In: C. Schobbenhaus, D.A. Campos, E.T. Queiroz, M. Winge, M. Berbert-Born (Eds.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Disponível em: <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio086/sitio086.htm>. Acessado em 3 jan. 2011.
- Mello-Barreto H.L. 1942. Regiões fitogeográficas de Minas Gerais. *Boletim Geográfico*, **14**:14-28.
- Menezes N.L. & Giulietti A.M. 1986. Campos Rupestres: Paraíso Botânico da Serra do Cipó. *Ciência Hoje*, **5**:38-44.
- Mera A.G., Hagen M.A., Orellana J.A.V. 1999. Aerophyte, a new life form in Raunkiaer's classification? *Journal of Vegetation Science*, **10**:65-68.
- Messias M.C.T.B., Leite M.G.P., Meira-Neto J.A.A., Kozovits A.R. 2011. Life-form spectra of quartzite and itabirite rocky outcrop sites, Minas Gerais, Brazil. *Biota Neotropica*, **11**(2) (no prelo)
- Miranda E.E. 2005. Brasil em Relevô. In.: Embrapa *Monitoramento por Satélite*. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br>. Acessado em 3 jan. 2011.
- MMA (Ministério do Meio Ambiente) 2008. Lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. Instrução Normativa Nº 6 de 23/09/2008. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/ascom_boletins/_arquivos/83_19092008034949.pdf. Acessado em 05 out. 2009.
- Mollard F.P.O., Striker G.G., Ploschuk E.L., Vega A.S., Insaustia P. 2008. Flooding tolerance of *Paspalum dilatatum* (Poaceae: Paniceae) from upland and lowland positions in a natural grassland. *Flora*, **203**:548-556.
- 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.
- Mueller-Dombois D. & Ellenberg H. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. 2ed. New York, John Wiley & Sons, 547p.
- Negreiros D., Moraes M.L.B., Fernandes G.W. 2008. Caracterização da fertilidade dos solos de quatro leguminosas de campos rupestres, Serra do Cipó, MG, Brasil. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, **8**:30-39.
- Nimer E. 1989. *Climatologia do Brasil*. 2ed. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 421p.
- Nunes J.A. 2009. *Florística, estrutura e relações solo-vegetação em gradiente fitofisionômico sobre canga, na Serra Sul, Flona de Carajás – Pará*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, 101p.
- Oliveira S.H.F., Negreiros D., Fernandes G.W., Barbosa N.P., Rocha R., Almeida-Cortez J.S. 2009. Seedling growth of the invader *Calotropis procera* in ironstone rupestrian field and seasonally dry forest soils. *Neotropical Biology and Conservation*, **4**:69-76.
- Oliveira Junior A.C., Faquin V., Pinto J.E.B.P. 2006. Efeitos de calagem e adubação no crescimento e nutrição de arnica. *Horticultura Brasileira*, **24**:347-351.
- Owoseye J.A. & Sanford W.W. 1972. An ecological study of *Vellozia schnitzleinia*, a drought-enduring plant of northern Nigeria. *Journal of Ecology*, **60**:807-817.
- 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.

- Pillar V.D. 2000. Padrões e processos em campos do sul do Brasil. In: T.B. Cavalcanti & B.M.T. Walter (org.) *Tópicos atuais em botânica: Palestras convidadas do 51º Congresso Nacional de Botânica*. Brasília, EMBRAPA Recursos Genéticos e Biotecnologia/Sociedade Botânica do Brasil, p.: 165-171.
- Pirani J.R., Giuliatti A.M., Mello-Silva R., Meguro M. 1994. Checklist and patterns of geographic distribution of the vegetation of Serra do Ambrósio, Minas Gerais, Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, **17**:133-147.
- Porembski S., Barthlott W., Dörrstock S., Biedinger N. 1994. Vegetation of rock outcrops in Guinea: granite inselbergs, sandstone table mountains and ferricretes - remarks on species numbers and endemism. *Flora*, **189**:315-326.
- Porembski S., Seine R., Barthlott W. 1997. Inselberg vegetation and the biodiversity of granite outcrops. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, **80**:193-199.
- Porembski S., Martinelli G., Ohlemüller R., Barthlott W. 1998. Diversity and ecology of saxicolous vegetation mats on inselbergs in the Brazilian Atlantic rainforest. *Diversity and distributions*, **4**:107-119.
- Porembski S. & Barthlott W. 2000. Granitic and gneissic outcrops (inselbergs) as centers of diversity for desiccation-tolerant vascular plants. *Plant Ecology*, **151**:19-28.
- Porembski S. 2007. Tropical inselbergs: habitat types, adaptive strategies and diversity patterns. *Revista Brasileira de Botânica*, **30**:579-586.
- 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.
- Queiroz L.P., Sena T.S.N., Costa M.J.S.L. 1996. Flora vascular da Serra da Jibóia, Santa Terezinha, Bahia. I: O campo rupestre. *Sitientibus*, **15**:27-40.
- R Development Core Team. 2008. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, AU. Disponível em: <http://www.r-project.org/>. Acessado em 3 mar. 2010.
- Rapini A., Ribeiro P.L., Lambert S., Pirani J.R. 2008. A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. *Megadiversidade*, **4**:15-23.
- Raunkiaer C. 1934. *The life forms of plants and statistical geography*. Oxford, Clarendon Press, 632p.
- Reeves R.D., Baker A.J.M., Becquer T., Echevarria G., Miranda Z.J.G. 2007. The flora and biogeochemistry of the ultramafic soils of Goiás state, Brazil. *Plant and Soil*, **93**:107-119.
- Ribeiro K.T. 2002. *Estrutura, dinâmica e funcionalidade em comunidades rupícolas no Planalto do Itatiaia*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 96p.
- 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**:1-84.
- Ribeiro K.T., Medina B.M.O., Scarano F.R. 2007. Composição de espécies e relações biogeográficas da flora sobre afloramentos rochosos no Planalto do Itatiaia, SE do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, **30**:623-639.
- Rizzini C.T. 1963. Nota prévia sobre a divisão fitogeográfica do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia*, **25**:3-64.
- Rizzini C.T. 1997. Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. Rio de Janeiro, Âmbito Cultural, 747p.
- Roem W.J. & Berendse F. 2000. Soil acidity and nutrient supply ratio as possible factors determining changes in plant species diversity in grassland and heathland communities. *Biological Conservation*, **92**:151-161.
- Roschel M.B. 2000. *Levantamento florístico fanerogâmico do campo rupestre da Estrada da Torre, Antônio Pereira, Ouro Preto, MG*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 133p.
- Rosière C.A. & Chemale Jr. F. 2000. Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero - uma visão geral e discussão. *Geonomos*, **8**:27-42.
- Ruggiero P.G.C. & Pivello V.R. 2005. O Solo e a Comunidade Vegetal. In: V.R. Pivello & E.M. Varanda (orgs.) *O Cerrado Pé-de-Gigante (Parque Estadual de Vassununga, SP) - Ecologia e Conservação*. São Paulo, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, p.: 173-188.

- Salgado A.A.R., Colin F., Nalini Jr. H.A., Braucher R., Varajão A.F.D.C., Varajão C.A.C. 2004. O papel da denudação geoquímica no processo de erosão diferencial no Quadrilátero Ferrífero. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, **5**:55-69.
- Salgado A.A.R., Braucher R., Varajão C.A.C., Colin F., Varajão A.F.D.C., Nalini Junior H.A. 2006. Denudation rates of the Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brazil): preliminary results from measurements of solute fluxes in rivers and in situ-produced cosmogenic ¹⁰Be. *Journal of Geochemical Exploration*, **88**:313-317.
- Salgado A.A.R., Braucher R., Varajão C.A.C., Colin F., Varajão A.F.D.C., Nalini Junior H.A. 2008. Relief evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brazil) by means of (¹⁰Be) cosmogenic nuclei. *Zeitschrift für Geomorphologie*, **52**:317-323.
- Sant'Anna L.G. 1994. *Mineralogia das argilas e evolução geológica da Bacia de Fonseca, Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 151p.
- Sant'Anna L.G. & Schorscher H.D. 1997. Estratigrafia e mineralogia dos depósitos cenozóicos da região da Bacia de Fonseca, Estado de Minas Gerais, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **69**:211-226.
- Sarmiento F.O. 2002. Human drivers of landscape change: treelines dynamics in neotropical montology. *Ecotropicos*, **15**:129-146.
- Sarmiento G. & Monasterio M. 1983. Life forms and phenology. In: F. Bourlière (ed.) *Ecosystems of the world: tropical savannas*. Amsterdam, Elsevier, p.: 79-108.
- Semir J. 1991. *Revisão taxonômica de Lychnophora Mart. (Vernoniaeae: Compositae)*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 515 p.
- Shure D.J. & Ragsdale L. 1977. Patterns of primary succession on granite outcrop surfaces. *Ecology*, **58**:993-1006.
- 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 Ciências do Solo*, **33**:1385-1398.
- Silva A.M., Kuyumjian R.M., Chemale Jr. F. 1992. Rochas básicas do Quadrilátero Ferrífero e Espinhaço Meridional: Estudos preliminares. *Revista da Escola Minas*, **45**:60-62.
- Silva M.F.F. 1991. Análise florística da vegetação que cresce sobre canga hematítica em Carajás - Pará (Brasil). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Botânica*, **7**:79-105.
- Silva M.F.F. 1992. Distribuição de metais pesados na vegetação metalófila de Carajás. *Acta Botanica Brasilica*, **6**:107-122.
- Silva M.F.F. & Rosa N.A. 1990. Estudos botânicos na área do Projeto Ferro Carajás – Serra Norte. I. Aspectos fito-ecológicos dos campos rupestres. In: Congresso Nacional de Botânica, 35, Manaus, 1984, SBB, *Anais*, p.: 367-379.
- Silveira A.A. 1908. *Flora e Serras Mineiras*. Belo Horizonte, Imprensa Oficial.
- Soeltl T.M. 2009. *Caracterização edáfica e vegetacional de espécies de Eremanthus (Asteraceae) sob litotipos distintos na Floresta Estadual do Umuí – MG*. Dissertação de Mestrado, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 108p.
- Sousa H.C. 1997. *Estudo comparativo de adaptações anatômicas em órgãos vegetativos de espécies de Lavoisiera DC. (Melastomataceae) da Serra do Cipó, MG*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 185p.
- Sparovek G. & Camargo O. 1997. Sampling strategies for tropical forest nutrient cycling studies: a case study in São Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, **21**:635-642.
- Stannard B.L. 1995. *Flora of the Pico das Almas - Chapada Diamantina, Bahia, Brazil*. Kew, Royal Botanic Gardens, 111p.
- Statsoft Inc. 2001. *Statistica (Data analysis software system), version 6*. US, Tulsa.
- Suguio K. 1973. *Introdução a sedimentologia*. São Paulo, Edgard Blucher, 317p.
- 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.

- Teixeira W.A. & Lemos-Filho J.P. 2002. Fatores edáficos e a colonização de espécies lenhosas em uma cava de mineração de ferro em Itabirito, Minas Gerais. *Revista Árvore*, **26**:25-33.
- Ter Braak C.J.F. 1987. The analysis of vegetation environment relationship by canonical correspondence analysis. *Vegetatio*, **69**:69-77.
- Ter Braak C.J.F. & Prentice I.C. 1988. A theory of gradient analysis. *Advances in Ecological Research*, **18**:271-317.
- Ter Braak C.J.F. 1995. Ordination. In: R.H.G. Jongman, C.J.F. Ter Braak, O.F.R. Van Tongeren (eds.) *Data analysis in community and landscape ecology*. Cambridge, Cambridge Univ. Press, p.:91-173.
- Tilman D. 1982. *Resource competition and community structure*. Princeton, Princeton University Press, 296p.
- Tomé-Junior J.B. 1997. *Manual para interpretação de análise de solo*. Curitiba, Agropecuária, 247p.
- UNESCO 2005. *Latin America. The world network of biosphere reserves & Caribbean*. Disponível em: <http://www.unesco.org/mabdb/br/brdir/directory/biores.asp?mode=all&code=BRA+06>. Acessado em 3 dez. 2008.
- USDA 1998. *Keys to soil taxonomy*. New York, United States Department of Agriculture, 326p.
- Valentin J.L. 2000. *Ecologia Numérica - uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos*. Rio de Janeiro, Ed. Interciência, 117p.
- Varajão C.A.C. 1991. A questão da correlação das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista da Escola de Minas*, **21**:138-145.
- Varajão C.A.C., Ramanaidou E., Melfi A.J., Colin F., Nahon D. 1996a. Alteração dos Itabiritos da Mina de Maquiné (Quadrilátero Ferrífero): Um exemplo de alteração isalterítica In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39, Salvador, 1996, Salvador, Sociedade Brasileira de Geologia, *Anais*, p.: 171-173.
- Varajão C.A.C., Ramanaidou E., Melfi A.J., Colin F., Nahon D. 1996b. Martitização: Alteração supergênica da magnetita. *Revista da Escola Minas*, **50**:18-20
- Varajão C.A.C., Colin F., Vieillard P., Melfi A.J., Nahon D. 2000. Early weathering of palladium gold under lateritic conditions, Maquiné Mine, Minas Gerais, Brazil. *Applied Geochemistry*, **15**:245-263.
- Varajão C.A.C., Bruand A., Ramanaidou E.C., Gilkes R.J. 2002. Microporosity and reducibility of BIF hosted massive hematite ore, iron quadrangle, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **74**:113-126.
- Varajão C.A.C., Salgado R., Varajão A.F.D.C., Braucher R., Colin F., Nalini Jr. H.A. 2009. Estudo da evolução da paisagem do quadrilátero ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio da mensuração das taxas de erosão (10Be) e da pedogênese. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **33**:1409-1425.
- Veloso H.P., Rangel Filho A.L.R., Lima J.C.A. 1991. *Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal*. São Paulo, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 123 p.
- Venturin N., Souza P.A., Macedo R.L.G. 2005. Adubação mineral da candeia (*Eremanthus erythropapus* (DC.) Mcleish). *Floresta*, **35**:211-219.
- Verhoeven J.T.A., Koerselman W., Meuleman A.F.M. 1996. Nitrogen of phosphorus limited growth in herbaceous, wet vegetation: relations with atmospheric inputs and management regimes. *Trends in ecology and evolution*, **11**:499-497.
- Versieux L.M. 2005. *Bromeliáceas de Minas Gerais: catálogo, distribuição geográfica e conservação*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 234p.
- Viana P.L. & Filgueiras T.S. 2008. Inventário e distribuição geográfica das gramíneas (Poaceae) na Cadeia do Espinhaço, Brasil. *Megadiversidade*, **4**:99-116.
- Viana P.L. & Lombardi J.A. 2007. Florística e caracterização dos campos rupestres sobre canga na Serra da Calçada, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia*, **58**:159-177.
- Vincent R.C. 2004. *Florística, fitossociologia e relações entre a vegetação e o solo em áreas de campos ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 145p.
- Vincent R.C. & Meguro M.M. 2008. Influence of soil properties on the abundance of plants species in ferruginous rocky soils vegetation, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, **3**:377-388.

- Visser E.J.W., Colmer T.D., Blom C.W.P.M., Voesenek C.J. 2000. Changes in growth, porosity and radical oxygen loss from adventitious roots of selected mono- and dicotyledonous wetland species with contrasting types of aerenchyma. *Plant, Cell & Environment*, **23**:1237-1245.
- Vitta F.A. 1995. *Composição florística e ecologia de comunidades campestres na Serra do Cipó, Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 111p.
- Volkoff B., Cerri C.C., Melfi A.J. 1984. Húmus e mineralogia dos horizontes superficiais de três solos de campo de altitude dos Estados de Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **8**:277-283.
- Ware S. 1990. Adaptation to substrate-and lack of it-in rock outcrop plants: *Sedum* and *Arenaria*. *American Journal of Botany*, **77**:1095-1100.
- Westhoff V. & Maarel E. 1978. The Braun-Blanquet approach. In: R.H. Whittaker (ed.) *Classification of plant communities*. Netherlands, Dr. W. Junk, p.: 289-374.
- Whittaker R.J., Willis K.J., Field R. 2001. Scale and species richness: towards a general hierarchical theory of species diversity. *Journal of Biogeography*, **28**:453-470.
- Wikum D. & Shanholtzer G. 1978. Application of the Braun-Blanquet cover-abundance scale for vegetation analysis in land development studies. *Environmental Management*, **2**:323-329.
- Zar J.H. 1999. *Biostatistical analysis*. 4ed. New Jersey, Prentice Hall, 663p.

Apêndices

Apêndice A. Média (X) e desvio padrão (s) dos teores totais (mg/kg) de elementos maiores, menores e traços dos solos de campos rupestres, em diferentes habitats sobre itabirito e quartzito, respectivamente em Ouro Preto (20°10'S / 43°31'W) e Mariana (20°13'S / 43°24'W), Brasil. IAF = Campos rupestres em áreas inclinadas, com afloramentos rochosos de itabirito, nos topos das elevações; IPL = Campos rupestres nos patamares, com afloramentos de canga couraçada, na porção mediana das encostas; ICS = Campos rupestres (campos sujos) sobre canga, em vales ou depressões localizadas nas porções mais baixas ou côncavas dos perfis; QAF = Campos rupestres em áreas inclinadas com afloramentos rochosos de quartzito, nos topos das elevações; QPL = Campos rupestres nos patamares sobre quartzito, na porção mediana das encostas; QCS = Campos rupestres (campos sujos) sobre quartzito, em vales ou depressões localizadas nas porções mais baixas ou côncavas dos perfis.

	Itabirito						Quartzito					
	IAF		IPL		ICS		QAF		QPL		QCS	
	X	s	X	s	X	s	X	s	X	s	X	s
Al	10175,3a	1811,4	8501,6a	1301,8	7255,5a	2120,1	68507,2b	10621,6	62268,2b	13728,4	82077,0b	13923,4
As	0a	0,0	0a	0,0	0a	0,0	1,971b	1858,0	3,748b	2410,0	2,289b	2044,0
Ba	32,272a	9046,0	23,049a	7908,0	26,058a	8013,0	1050,1b	277572,0	1023,2b	208337,0	1136,8b	218918,0
Bi	50,055ab	17588,0	65,110a	22309,0	36,107b	20876,0	7,451c	1786,0	4,391c	1839,0	5,763c	1495,0
Ca	357,03a	132490,0	299,52a	170428,0	404,610a	137604,0	136,720b	51823,0	124,780b	40697,0	113,32b	23871,0
Co	12,071a	6948,0	6,465b	1056,0	5,579b	2473,0	14,936a	2191,0	14,060a	3028,0	16,609a	2426,0
Cr	23,746a	4086,0	20,311a	2662,0	19,667a	8105,0	44,822b	7288,0	44,802b	9405,0	50,451b	7721,0
Cu	2,717a	7014,0	1,353a	2439,0	2,756a	1966,0	3,627a	2715,0	0,696a	0,4	1,991a	0,9
Fe	406839,8ab	121041,0	501999,1a	175926,3	274469,4b	174571,2	43567,8c	9565,7	29726,9c	8650,8	32624,3c	3643,8
K	524,54a	210,9	310,83a	196,7	481,06a	159,0	32109,1bc	6447,0	28948,9b	6309,3	37228,4c	6530,5
Li	0,803a	0,2	0,546a	0,3	0,727a	0,2	6,115b	1217,0	5,631b	1020,0	6,113b	1015,0
Mg	367,81a	176,0	220,43a	106,0	244,56a	58,0	1622,8b	250,0	1530b	307,4	1812,2b	336,5
Mn	612,03a	123,8	1000,9b	464,0	400ac	242,1	185,52c	33,9	123,9c	29,7	171,06c	28,7
Na	306,27a	102,4	167,77b	35,8	148,86b	35,9	614,28c	91,6	614,80c	123,8	644,49c	109,6
Ni	2,291a	1380,0	0,584a	1060,0	1,726a	1070,0	20,959b	2897,0	19,312b	3776,0	22,183b	3209,0
P	1131,8a	116,7	1124,7a	240,6	861,6b	127,5	270,19c	69,9	257,56c	46,1	306,51c	68,2
Pb	46,138ab	12055,0	57,532a	20162,0	33,686b	21452,0	6,581c	5064,0	5,281c	5137,0	9,942c	5269,0
S	431,64ab	200,3	317,78bc	253,9	612,65a	230,9	150,28c	114,3	104,75c	67,8	158,94c	67,1
Sr	13,536a	5347,0	9,021a	2807,0	10,002a	2639,0	55,403bc	18092,0	66,43c	16033,0	46,151b	9582,0
Th	1,948 a	0,4	2,302 a	0,6	1,276 a	0,9	21,982 b	4839,0	35,075 c	4501,0	28,636 c	4834,0
Ti	5656,5a	3607,4	2939,4b	711,8	2601,1b	1187,5	2480,3b	381,3	2333,5b	489,8	2924,9b	449,9
V	88,23ab	33,9	61,12bc	8,9	51,6c	26,7	80,91ab	15,4	86,33ab	20,3	96,17a	13,9
Y	4,757a	1,0	3,895a	0,5	3,6a	0,8	12,242b	1812,0	17,596b	3053,0	14,316b	1820,0
Zn	102,02a	22735,0	112,33a	31182,0	60,726b	20102,0	57,439b	8852,0	61,385b	12523,0	63,614b	12288,0

Apêndice B. Análise mineralógica por difração de raios X das amostras de solos dos diferentes habitats de campos rupestres sobre quartzito e itabirito, em Ouro Preto e Mariana, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.

Habitat	Minerais								
	Caulinita	Goetita	Grossular	Haloisita	Hematita	Laumontita	Muscovita	Quartzo	Zircão
IAF		x			x			x	x
IPL		x	x		x			x	
ICS		x			x			x	
QAF	x	x					x	x	x
QPL		x		x			x	x	
QCS	x			x		x	x	x	

x = presença do mineral

IAF = Campos rupestres em áreas inclinadas, com afloramentos rochosos de itabirito, nos topos das elevações; IPL = Campos rupestres nos patamares, com afloramentos de canga couraçada, na porção mediana das encostas; ICS = Campos rupestres (campos sujos) sobre canga, em vales ou depressões localizadas nas porções mais baixas ou côncavas dos perfis; QAF = Campos rupestres em áreas inclinadas com afloramentos rochosos de quartzito, nos topos das elevações; QPL = Campos rupestres nos patamares sobre quartzito, na porção mediana das encostas; QCS = Campos rupestres (campos sujos) sobre quartzito, em vales ou depressões localizadas nas porções mais baixas ou côncavas dos perfis.

Caulinita - $Al_2Si_2O_5(OH)_4$

Goetita - $FeO(OH)$

Grossular - $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$

Haloisita - $Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O$

Hematita - Fe_2O_3

Laumontita - $CaAl_2Si_4O_{12} \cdot 4H_2O$

Muscovita - $KAl_2Si_3AlO_{10}(OH,F)_2$

Quartzo - SiO_2

Zircão- $ZrSiO_4$

Apêndice C. Lista das espécies coletadas fora das unidades amostrais dos campos rupestres sobre itabirito e quartzito, em Ouro Preto e Mariana, Minas Gerais, respectivamente.

Família/Espécie	Voucher	FV	Itabirito	Quartzito	Observações
Apocynaceae					
<i>Condylocarpon</i> sp.	2351	Li		x	
<i>Ditassa retusa</i> Mart.	1285	Li	x		
<i>Orthosia scoparia</i> (Nutt.) Liede & Meve	2187	Ph	x		
Aquifoliaceae					
<i>Ilex conocarpa</i> Reissek	1423	Ph	x		
<i>Ilex pseudobuxus</i> Reissek	1570	Ph	x		
Asteraceae					
<i>Barrosoa organensis</i> (Gardner) R.M.King & H.Rob.	1867	Ch	x		
<i>Mikania hirsutissima</i> DC.	1293	Li	x		
<i>Piptocarpha axillaris</i> (Less.) Baker	2250	Ph		x	
<i>Senecio brasiliensis</i> (Spreng.) Less.	2096	Ph	x	x	
Atheliaceae					
<i>Dictyonema glabratum</i> (Spreng.) D. Hawksw.	2024			x	
Bignoniaceae					
<i>Anemopaegma chamberlainii</i> (Sims) Bureau & K.Schum.	1870	Li	x		
<i>Fridericia samyoides</i> (Cham.) L.G.Lohmann	1615	Li	x		
<i>Sparattosperma leucanthum</i> (Vell.) K.Schum.	1775	Ph		x	
Bromeliaceae					
<i>Dyckia elata</i> Mez	2211	He	x	x	
Burseraceae					
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	1751	Ph		x	
Cladoniaceae					
	1497		x	x	

Família/Espécie	Voucher	FV	Itabirito	Quartzito	Observações
<i>Cladonia miniata</i> G. Mey					
<i>Cladonia clathrata</i> Ahti & Xavier Filho	1498		x	x	
<i>Cladonia</i> sp.	1842		x	x	
Convolvulaceae					
<i>Cuscuta racemosa</i> Mart.	1663	Li	x		
<i>Evolvulus aurigenus</i> Mart.	2195	Ch	x	x	
<i>Ipomoea</i> sp.	1294	He	x		
Ericaceae					
<i>Agarista coriifolia</i> (Thunb.) Hook. ex Nied.	1716	Ph	x		
<i>Gaylussacia brasiliensis</i> (Spreng.) Meisn.	1628	Ph	x		
Eriocaulaceae					
<i>Paepalanthus exiguus</i> (Bong.) Körn.	1737	He	x		
<i>Syngonanthus gracilis</i> (Bong.) Ruhland	1998	He		x	
Erythroxylaceae					
<i>Erythroxylum citrifolium</i> A.St.-Hil.	2249	Ph		x	
<i>Erythroxylum daphnites</i> Mart.	1515	Ph		x	
<i>Erythroxylum suberosum</i> A.St.-Hil.	2202	Ph		x	
Euphorbiaceae					
<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll.Arg.	2380	Ph	x		
Lacistemaceae					
<i>Lacistema pubescens</i> Mart.	1521	Ph		x	
Lauraceae					
<i>Cinnamomum sellowianum</i> (Nees & Mart.) Kosterm.	2256	Ph	x		
<i>Ocotea tabacifolia</i> (Meisn.) Rohwer	1618	Ph	x		
<i>Phoebe</i> sp.	2343	Ph			
Fabaceae (Leguminosae – Papilionoideae)					
<i>Andira fraxinifolia</i> Benth.	2292	Ph		x	
<i>Andira ormooides</i> Benth.	1782	Ph		x	
<i>Crotalaria</i> sp.	2118	Th		x	
Lentibulariaceae					
<i>Utricularia subulata</i> L.	2114	Cr		x	
Malpighiaceae					
<i>Byrsonima ligustrifolia</i> A.Juss.	1917	Ph		x	
Malvaceae					
<i>Hibiscus bifurcatus</i> Cav.	1372	Ph	x		
<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.	2165	Ph	x		
<i>Pavonia montana</i> Garcke ex Gürke	1286	Ph	x		Endêmica de MG*
<i>Sida tuberculata</i> R.E.Fr.	2376	Cr	x		
Melastomataceae					
<i>Cambessedesia pityrophylla</i> (Mart. ex DC.) A.B.Martin	2164	Ph	x		
<i>Comolia sertularia</i> (DC.) Triana	1701	Ph	x		Endêmica de MG*
<i>Lavoisiera imbricata</i> (Thunb.) DC.	1288	Ph	x		
<i>Macairea radula</i> (Bonpl.) DC.	2177	Ph	x		
<i>Marcetia taxifolia</i> (A.St.-Hil.) DC.	2143	Ph	x		
<i>Miconia trianae</i> Cogn.	1586	Ph	x		
Meliaceae					
<i>Trichilia</i> sp.	1516	Ph		x	
Menispermaceae					
<i>Cissampelos andromorpha</i> DC.	1617	Li	x		
Moraceae					
<i>Ficus calyptroceras</i> (Miq.) Miq.	1519	Ph		x	
Myrsinaceae					
<i>Myrsine lancifolia</i> Mart	2181	Ph		x	
Myrtaceae					
<i>Eugenia florida</i> DC.	1532	Ph		x	

Família/Espécie	Voucher	FV	Itabirito	Quartzito	Observações
<i>Eugenia nutans</i> O.Berg	1613	Ph	x		
<i>Marlierea rubiginosa</i> (Cambess.) D.Legrand	1832	Ph		x	
Oleaceae					
<i>Chionanthus filiformis</i> (Vell.) P.S.Green	2170	Ph	x		
Orchidaceae					
<i>Isochilus linearis</i> (Jacq.) R.Br.	2345	Ep	x		
Orchidaceae					
<i>Acianthera hamosa</i> (Barb.Rodr.) Pridgeon & M.W.Chase	1424	He	x		
<i>Koellensteinia tricolor</i> (Lindl.) Rchb.f.	1479	Ch	x		
Parmeliaceae					
<i>Parmotrema reticulatum</i> (Taylor) M. Choisy	1419		x	x	
Poaceae					
<i>Axonopus pressus</i> (Nees ex Steud.) Parodi	1445	He	x		
<i>Ichnanthus calvescens</i> Nees	2253	He	x		
<i>Parodiolyra micrantha</i> (Kunth) Davidse & Zuloaga	1518	He		x	
<i>Paspalum brachytrichum</i> Hack.	1759	He	x		Endêmica de MG. Criticamente em perigo*
Polygalaceae					
<i>Bredemeyera velutina</i> A.W.Benn.	1761	Li		x	
Polytrichaceae					
<i>Polytrichum</i> sp.	1840		x	x	
Não identificada	1926		x		
Rocellaceae					
<i>Herpothallon rubrocinctum</i> (Ehrenb.) Aptroot & Lücking	2123		x	x	
Sapindaceae					
<i>Paullinia carpopoda</i> Cambess.	2251	Li		x	
Solanaceae					
<i>Brunfelsia brasiliensis</i> (Spreng.) L.B.Sm. & Downs	1760	Ph		x	
<i>Solanum graveolens</i> Bunbury	1533	Ph	x		Espécie ameaçada de extinção**
<i>Solanum refractifolium</i> Schltld.	1819	Ph	x		
<i>Solanum</i> sp.	2360	Ph	x		
Usneaceae					
<i>Usnea strigosella</i> J. Steiner	2025		x	x	
Violaceae					
<i>Anchietea pyrifolia</i> (Mart.) G.Don	2194	Li	x		

FV = Formas de vida; Voucher = Número de coleta de M.C.T.B.Messias, Ph= fanerófita; Ch=caméfito, He=hemicriptófita; Cr=criptófita; Th=terófito; Ep=epífita; Li=liana. *COPAM 1997. Lista das espécies ameaçadas de extinção da flora do Estado de Minas Gerais. Deliberação COPAM 085/97. **MMA 2008. Lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. Instrução Normativa N° 6 de 23/09/2008.

Apêndice D. Algumas espécies vegetais ocorrentes nas áreas dos campos rupestres estudados

Fotografias (Maria Cristina Teixeira Braga Messias)