

SAMARA AZEVEDO DE JESUS MARTINS

**COMPLEXO RUPESTRE FERRUGINOSO EM MORRO DO PILAR, ESPINHAÇO
MERIDIONAL DE MINAS GERAIS: SOLO - VEGETAÇÃO E DIVERSIDADE
FILOGENÉTICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Carlos E. G. Reynaud Schaefer

Coorientador: Hugo Galvão Candido

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2021**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade Federal de
Viçosa - Campus Viçosa

T

M379c
2021
Martins, Samara Azevedo de Jesus, 1995-
Complexo rupestre ferruginoso em Morro do Pilar, Espinhaço
Meridional de Minas Gerais: solo - vegetação e diversidade filogenética
/ Samara Azevedo de Jesus Martins. - Viçosa, MG, 2021.
1 dissertação eletrônica (94 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndice.

Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Botânica, 2021.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2021.197>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Ecologia vegetal. 2. Ecologia das paisagens. 3. Biodiversidade.
4. Filogenia. 5. Plantas e solo. 6. Análise cladística. 7. Ecossistemas.
I. Schaefer, Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud, 1965-. II. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Botânica. Programa de Pós-
Graduação em Botânica. III. Título.

CDD 22. ed. 581.98151

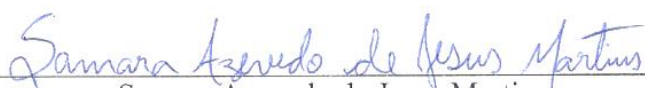
SAMARA AZEVEDO DE JESUS MARTINS

**COMPLEXO RUPESTRE FERRUGINOSO EM MORRO DO PILAR, ESPINHAÇO
MERIDIONAL DE MINAS GERAIS: SOLO - VEGETAÇÃO E DIVERSIDADE
FILOGENÉTICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.


APROVADA: 06 de agosto de 2021.

Assentimento:



Samara Azevedo de Jesus Martins

Autora



Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer
Orientador

*Às minhas mães Andréia de Jesus e, in
memoriam, Zilá Azevedo.*

AGRADECIMENTOS

A Deus por me capacitar, livrar/proteger e abençoar todos os dias! Pela natureza e toda sua biodiversidade, energia e amor!

À minha querida e amada mãe Andréia que me acalantou e auxiliou em todo o processo de desenvolvimento não só deste trabalho, mas de toda minha vida! Por ser meu exemplo, pelo seu amor, carinho, e por me fazer todos os dias acreditar que sou capaz de tudo que eu der o meu melhor.

À minha avó Zilá, que me abraçou diversas vezes em meus sonhos, me fazendo lembrar que no mundo pode haver ódio, mas o amor e a ternura são as melhores das escolhas.

À toda minha família, em especial tia Alaídis que em momentos difíceis me ouviu e me esperançou quanto ao meu futuro.

Aos meus amigos do coração, em especial Isaque Silva, Lucas Dias e Thauanny Almeida que sempre me surpreendem e me fazem sentir que sou amada.

À Ricardo Baptista que esteve ao meu lado, conversando todos os dias e provocando meus melhores sorrisos quando nada mais fazia sentido pra mim, me motivando a sempre me refazer e buscar minha felicidade.

Aos meus amigos do mestrado, em especial Alejandro Castro, Josielle Evaristo, Lhorayne Gomes, Michel Filiphy, Ronaldo da Silva, Pedro Bonfá e Túlio Nelson que me ajudaram em várias questões no início e/ou no fim deste frenesi.

Aos meus colegas companheiros de campos, em especial Patanjaly Andrade, Primula Campos e Wendelo Costa que me apresentaram às Cangas.

Aos meus colegas que conheci em Viçosa, e que vou levar pra sempre em meu coração.

Ao meu orientador e coorientador, respectivamente Carlos Schaefer e Hugo Candido, pela oportunidade, direcionamento e correções.

Ao Pedro Villa que me auxiliou no segundo capítulo, me apoiou, direcionou, corrigiu, ensinou e me incentivou a persistir na ciência.

Ao departamento de botânica da UFV, em especial ao Ângelo Lopes e Aristeia Azevedo, todos os meus professores que me repassaram novos conhecimentos, moldando assim meu futuro como Cientista e Bióloga.

À UFV pela experiência, instalações e equipamentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa, pois sem ela, no momento, não seria possível realizar este sonho.

RESUMO

MARTINS, Samara Azevedo de Jesus, M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2021. **Complexo Rupestre Ferruginoso em Morro do Pilar, Espinhaço Meridional de Minas Gerais: Solo - Vegetação e Diversidade Filogenética**. Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Coorientador: Hugo Galvão Candido.

A vegetação dos Campos Rupestres pode estar associada a afloramentos quartizíticos, granitos-gnaisses, itabiritos/jaspelitos e arenitos, e geralmente são encontradas acima de 900m. As diferenças fitofisionômicas encontradas nos Campos Rupestres são moldadas principalmente pela estratificação geoambiental ecossistêmica da vegetação que varia conforme a composição pedológica se distingue. Essa heterogeneidade das fitofisionomias acarretou na reclassificação de Campo Rupestre para Complexo Rupestre, o qual apresenta diferentes geoambientes (que são relativamente homogêneos). As condições edáficas e ambientais (e.g. isolamento geográfico) dos Complexos Rupestres refletiram em filtros ambientais que resultaram na alta diversidade, riqueza e endemismo nesses ambientes, tornando-os hotspots de biodiversidade. Dentre os Complexos Rupestres encontrados no Brasil (que se concentram no alinhamento do Espinhaço), destacam-se para este trabalho, os Complexos Rupestres Ferruginosos (CRFs), cujos complexos de solo (canga) são resultado do intemperismo, pedogenese policíclica da rocha matriz e das variações climáticas do Quaternário, que evidenciam uma couraça ferruginosa irregular, o que permitiu o surgimento de microblosões de solo, ideais para o enraizamento de herbáceas. Fatores genéticos da vegetação local e a presença de termiteiros foram considerados em alguns estudos como essenciais no processo de resiliência da vegetação que lida com elevadas concentrações de metais, lixiviação, entre outros. Apesar do grande endemismo, importância ecológica e características únicas, os CRFs estão classificados como criticamente em perigo, onde as atividades antrópicas são as principais modificadoras dessas exuberantes paisagens. Investigar os mecanismos biológicos desses ecossistemas, refinando-os em dados (Fitossociológicos/Diversidade Filogenética) que auxiliem na preservação de áreas prioritárias e recuperação de áreas degradadas é de suma importância para a manutenção desses ambientes. Dessa forma, o presente trabalho objetivou a compreensão da variação vegetacional em dois geoambientes espacialmente próximos, no Complexo Rupestre Ferruginoso da Fazenda Volta da Tropa em Morro do Pilar, porção leste do Espinhaço, em Minas Gerais, Brasil. Ademais, foi realizada a quantificação da riqueza e abundância vegetal, a relação das distribuições das espécies com as características superficiais do solo, a avaliação a diversidade

filogenética entre os geoambientes, e a caracterização/correlação das variáveis pedológicas que estruturam cada comunidade vegetal com a diversidade filogenética. Foram encontradas dissimilaridades nos dois geoambientes, reforçando que apesar da proximidade em escala espacial pequena e do compartilhamento de algumas espécies, persiste um mosaico heterogêneo no CRF da Fazenda Volta da Tropa. Dentre as principais dissimilaridades, destacam-se a riqueza e cobertura vegetal explicadas pela textura e profundidade do solo, em que CRAB teve menor riqueza e cobertura de espécies, e o solo esteve mais relacionado com concentrações biodisponíveis, matéria orgânica, areia grossa, argila e silte. Já CRAR apresentou maior riqueza e cobertura, e o solo mais relacionado com profundidade e areia fina. Em relação à Diversidade Filogenética, os dois geoambientes também apresentaram diferenças. As métricas que mais explicaram essa diferença foram: PD, MPD e ses.MPD. CRAB apresentou agrupamento filogenético e CRAR uma estrutura aleatória. Algumas hipóteses da Teoria OCBIL reforçam o encontrado neste trabalho, como a hipótese das oscilações climáticas do Quaternário, do ‘Ultimate Self’ e da Herança Gondwana. Dentre as relações com o solo, a métrica ses.MPD foi explicada pelos efeitos negativos de Al e PC1t, e em escala fina a textura do solo determinou a diferença na Diversidade Filogenética. Tendo em vista os aspectos observados, este trabalho reforça que, a generalização da vegetação ocorrente em diferentes gradientes geoambientais dos CRFs, pode gerar resultados tendenciosos. Além disso, correlacionar estudos fitossociológicos, edáficos e filogenéticos foi de suma importância para compreensão da variação de dois geoambientes espacialmente próximos em um Complexo isolado.

Palavras-chave: Campo Rupestre. Geoambiente. OCBILs. Ecologia de Comunidades.

ABSTRACT

MARTINS, Samara Azevedo de Jesus, M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, August, 2021. **Ferruginous Rupestrian Complex in Morro Do Pilar, Espinhaço Meridional of Minas Gerais: Soil - Vegetation and Phylogenetic Diversity.** Adviser: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Co-adviser: Hugo Galvão Candido.

The vegetation of Rupestrian Grassland can be associated with quartzite outcrops, granite-gneisses, itabirites/jaspelites and sandstones, and are generally found above 900 meters. The phytophysognomic differences found in the Rupestrian Grassland are mainly shaped by the geo-environmental ecosystem stratification of the vegetational complex, which varies according to the different pedological composition. This heterogeneity of phytophysognomies resulted in the reclassification of Rupestrian Grassland to Rupestrian Complex, which has different geoenvironments (which are relatively homogeneous). The edaphic and environmental conditions (e.g. geographic isolation) of the Rupestrian Complex reflected in environmental filters that resulted in the high diversity, richness and endemism in these environments, turning them into biodiversity hotspots. Among the Rupestrian Complex found in Brazil (which are concentrated in the Espinhaço alignment), the Ferruginous Rupestrian Complex (FRCs) stand out for this work, whose soil complexes (canga) are the result of weathering, polycyclic pedogenesis of the matrix rock and the climatic variations of the Quaternary, which show an irregular ferruginous cuirass, which allowed the emergence of soil microblossions, ideal for rooting herbaceous plants. Genetic factors of the local vegetation and the presence of termite mounds were considered in some studies as essential in the vegetation resilience process that deals with high concentrations of metals, leaching, among others. Despite their high endemism, ecological importance and unique characteristics, FRCs are classified as critically endangered, where anthropogenic activities are the main modifiers of these exuberant landscapes. Investigating the biological mechanisms of these ecosystems, refining them in data (Phytosociological/Phylogenetic Diversity) that help in the preservation of priority areas and recovery of degraded areas is of paramount importance for the maintenance of these environments. Thus, the present work aimed to understand the vegetation variation in two spatially close geoenvironments (CRAB - open rocky field/CRAR - shrubby rocky field), in the Rupestre Ferruginoso Complex of Fazenda Volta da Tropa in Morro do Pilar, eastern portion of Espinhaço, Minas Gerais, Brazil. In addition, the quantification of plant richness and abundance, the relationship of species distributions with the surface characteristics of the soil,

the assessment of phylogenetic diversity between geoenvironments, and the characterization/correlation of the pedological variables that structure each plant community with the diversity were carried out. phylogenetics. Dissimilarities were found in the two geoenvironments, reinforcing that despite the proximity on a small spatial scale and the sharing of some species, a heterogeneous mosaic persists in the FRCs of Fazenda Volta da Tropa. Among the main dissimilarities, the richness and vegetation cover are highlighted, explained by the texture and depth of the soil, in which CRAB had lower species richness and cover, and the soil was more related to bioavailable concentrations, organic matter, coarse sand, clay and silt. CRAR, on the other hand, presented greater richness and coverage, and the soil was more related to depth and fine sand. Regarding Phylogenetic Diversity, the two geoenvironments also showed differences. The metrics that most explained this difference were: PD, MPD and ses.MPD. CRAB presented a phylogenetic grouping and CRAR a random structure. Some hypotheses of the OCBIL Theory reinforce what was found in this work, such as the hypothesis of climatic oscillations of the Quaternary, of the 'Ultimate Self' and of the Gondwana Inheritance. Among the relationships with the soil, the ses.MPD metric was explained by the negative effects of Al and PC1t, and on a fine scale the soil texture determined the difference in Phylogenetic Diversity. In view of the observed aspects, this work reinforces that the generalization of the vegetation occurring in different geoenvironmental gradients of the FRCs can generate biased results. Furthermore, correlating phytosociological, edaphic and phylogenetic studies was of paramount importance for understanding the variation of two spatially close geoenvironments in an isolated Complex.

Keywords: Rupestre Field. Geoenvironment. OCBILs. Community's Ecology.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	11
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
CAPÍTULO I.....	19
RESUMO	20
ABSTRACT	22
1. INTRODUÇÃO.....	24
2. OBJETIVOS.....	25
2.1 Objetivo geral:	25
2.2. Objetivos específicos:.....	25
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1. Caracterização da área de estudo.....	26
3.2. Amostragem e Caracterização da Vegetação em cada geoambiente.....	28
3.3. Coleta de Solos Superficiais	28
3.4. Análises estatísticas	29
4. RESULTADOS	30
4.1. Fitossociologia.....	30
4.2. Escalonamento multidimensional não-métrico (nMDS)	31
4.3. Análises estatísticas da vegetação	32
4.4. Caracterização dos solos superficiais	35
5. DISCUSSÃO.....	38
6. CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS	42
CAPÍTULO II.....	49
RESUMO	50
ABSTRACT	52

1. INTRODUÇÃO.....	54
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	56
2.1. Área de estudo	56
2.2. Amostragem de vegetação.....	57
2.3. Amostragem e análises de propriedades do solo.....	57
2.4. Análises de dados	58
3. RESULTADOS	60
3.1. Comparação da diversidade e estrutura filogenética entre geoambientes	61
3.2. Efeitos das propriedades do solo sobre estrutura filogenética.....	63
4. DISCUSSÃO.....	64
5. CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS	67
APÊNDICE A	72
Tabela 1	72
Tabela 2	76
Tabela 3	78
Tabela 4	81
Tabela 5	82
Tabela 6	83
MATERIAL SUPLEMENTAR	84
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	92

INTRODUÇÃO GERAL

O termo Campo Rupestre foi cunhado cientificamente por Magalhães (1966) para definir a vegetação encontrada no topo da Cordilheira do Espinhaço, sobre solos associados aos afloramentos quartzíticos, tornando-se amplamente utilizado na literatura (Guiulietti *et al.*, 1987; Messias, 2011; Clemente, 2015). Posteriormente, o termo passou a ser utilizado também para vegetações sobre outros tipos de rocha, como granitos-gnaisses, itabiritos/jaspelitos e arenitos (Benites *et al.*, 2013; Vicent, 2004; Mourão & Stehmann, 2007; Queiroz *et al.*, 1996; Jacobi & Carmo, 2008; Schaefer *et al.*, 2016).

Os Campos Rupestres são geralmente encontrados em elevações acima de 900m, mas eventualmente ocorrem abaixo dessa altitude (Nunes *et al.*, 2015). Sua distribuição encontra-se principalmente no alinhamento do Espinhaço, que se estende do nordeste ao sudeste do Brasil (Fernandes, 2016), entretanto existem ilhas isoladas em outros Estados brasileiros, como por exemplo no norte do País, em Carajás (Fernandes, 2016; Schaefer *et al.*, 2016). As diferenças fitofisionômicas dos campos rupestres são moldadas principalmente pela estratificação geoambiental ecossistêmica da vegetação, que é predominantemente herbáceo-arbustiva, cuja ocorrência varia de acordo com a composição pedológica (Schaefer *et al.*, 2016). Um geoambiente é definido como ambiente geográfico que, em determinada extensão territorial, possui fatores ambientais, condições geológicas-geomorfológicas, atributos do relevo, condições climáticas, solo, vegetação e atividade humana, relativamente homogêneos (Dias, 2000). Desse modo, uma mesma formação geológica pode possuir várias unidades geoambientais distintas, cada qual com uma fitofisionomia particular (e.g. campo rupestre aberto com *Vellozia*, campo rupestre arbustivo, capão florestal alto) e tipo de solo (e.g. Plintosolo Pétrico – canga, Neossolo Litólico, Latossolo Vermelho).

Semir (1991) observou que a presença de fitofisionomias heterogêneas encontradas nos campos rupestres forma um vasto mosaico vegetacional, e assim, reclassificou os Campos Rupestres como Complexos Rupestres. Os Complexos Rupestres apresentam solos geralmente oligotróficos, com elevado teor de alumínio trocável, e acúmulo de matéria orgânica no horizonte A, intensificados pela profunda lixiviação, pobreza do material de origem e pouca profundidade do solo, cujo contato lítico é alcançado por poucos centímetros (Benites *et al.*, 2013; Schaefer *et al.*, 2016). Tais condições edáficas, combinadas ao maior isolamento geográfico, alta incidência de radiação solar e de ventos, amplitudes extremas de temperaturas diárias e baixa disponibilidade de água (Viana & Lombardi, 2007; Jacobi *et al.*, 2008; Nunes *et*

al., 2015; Schaefer *et al.*, 2015) propiciaram a seleção de adaptações únicas que, quando se leva em consideração a estabilidade dessas paisagens e o fator tempo, levam a um grande número de especiações dessa vegetação (Mackenzie & Guldmond, 1994). As implicações desses filtros ambientais severos e confinados resultou na alta biodiversidade, endemismo e riqueza florística encontradas nos Complexos Rupestres brasileiros, tornando-os hotspots de biodiversidade (Joly, 1970; Oliveira *et al.*, 2015; Silveira *et al.*, 2016).

Dentre os Complexos Rupestres, destacam-se para este trabalho os Complexos Rupestres Ferruginosos (CRF). A primeira publicação científica que cita o termo “campo ferruginoso” foi realizada por Rizzini (1979), ao se referir à vegetação altimontana desenvolvida sobre solo rico em ferro. Seus complexos de solos, genericamente conhecidos como canga, são resultados direto do intemperismo e pedogênese policíclica da rocha matriz de Itabirito/Jaspilitos (Schaefer *et al.*, 2008b) e das variações climáticas do Quaternário (Schaefer *et al.*, 2015). Devido à sua gênese, as cangas apresentam alta rugosidade, cimentação ferruginosa e macroporosidade que impedem o desenvolvimento de linhas de drenagem acentuadas e o efetivo enraizamento da vegetação (Silva, 2001); além disso, devido à condutibilidade térmica do ferro, a superfície da canga pode atingir quase 70°C (Carmo, 2012; Ferrari *et al.*, 2016). À medida que o produto do intemperismo e da pedogênese molda a canga, por sucessões cíclicas, uma couraça ferruginosa irregular é formada no relevo (Schaefer *et al.*, 2008b), com inúmeras fraturas e depressões, as quais podem ser preenchidas, ao longo do tempo, por material pedogenizado e antigos termiteiros abandonados (Schaefer *et al.*, 2015). Esse preenchimento possibilita a formação de microbolsões rasos de solo orgânico, ideais para o enraizamento e estabelecimento de algumas espécies herbáceas (Schaefer *et al.*, 2015).

As propriedades mineralógicas da canga exibem elevadas concentrações de certos metais (e.g. ferro – Fe), e podem mostrar valores elevados de níquel – Ni, cromo – Cr e alumínio – Al, que podem ser tóxicos para a maioria das plantas, especialmente as cultivadas (Haridasan, 1988; Jansen *et al.*, 2002; Haridasan, 2008). Estudos demonstram que algumas espécies da vegetação dos CRFs possuem genes que facilitam os processos de resistência (exclusão e, ou, acúmulo) dos metais pesados encontrados nas cangas (Epstein, 1975; Brunner & Sperisen, 2013; Santana, 2017; Grevenstuk & Romano, 2013), o que sugere que a competição pelo habitat pode ser reduzida às plantas que possuem tais genes.

Além dos fatores genéticos, a presença de termiteiros ativos nos CRFs propicia melhores condições para o desenvolvimento das plantas locais, sendo importantes ferramentas na ciclagem de nutrientes nos CRFs, principalmente em áreas cuja vegetação é aberta e herbácea

(com solo mais raso) (Schaefer *et al.*, 2015). Os termiteiros atuam diretamente no aumento do pH e nos teores de carbono orgânico, nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio dos solos e na diminuição do teor de alumínio, através da geofagia, pois durante a construção dos ninhos, os cupins ingerem o solo para extrair elementos nutritivos (Sarcinelli *et al.*, 2009; Schaefer *et al.*, 2015). Esse solo passa por transformações químicas no trato intestinal produzindo substâncias húmicas que podem alterar a complexação da matéria orgânica com íons metálicos (e.g. alumínio), e assim alterando o pH e a disponibilidade de nutrientes no solo (Sarcinelli *et al.*, 2009). Além disso, nos termiteiros ocorre o “efeito guarda-chuva”, em que a rotatividade de fragmentos minerais presentes no solo, durante a construção dos ninhos, faz com que os fragmentos de solos do saprolito (camada mais profunda de rocha degradada menos lixiviada e, portanto, mais rica em macro e micronutrientes) sejam expostos à medida que os cupins escavam e depositam, com isso, elementos como Ca e Mg vão se acumulando na superfície (Sarcinelli *et al.*, 2009).

Por conseguinte, apesar do endemismo, elevada importância ecológica e características únicas que os ambientes de canga apresentam, eles estão classificados como criticamente em perigo (Carmo, 2010; WWF & IUCN, 1999). A principal ameaça é a mineração, atividade comum nessas áreas devido ao alto valor comercial das jazidas de minério (Jacobi *et al.*, 2011), sendo base econômica não só de muitas cidades, como também uma das principais fontes de receita para o estado de Minas Gerais (Azevedo, 2012). Outras fontes de distúrbio à canga são expansão urbana, estradas, fogo antrópico e pastejo de animais domésticos (Carmo, 2010).

Até o presente momento, não existem estudos na literatura que apresentem dados que relacionem a composição do solo, riqueza, abundância das espécies vegetais e diversidade filogenética para os CRF da porção leste do Espinhaço. Estudos que investigam os mecanismos biológicos operantes nesses ecossistemas não só ajudam na preservação de áreas prioritárias, como também ajudam na recuperação das áreas degradadas, incentivando o uso de plantas nativas (onde historicamente são usadas plantas exóticas invasoras) (Martins, 2015; Azevedo, 2012; Griffith & Toy, 2001; Porto & Silva, 1989; Da Silva, 1992). Para isso, dados quantitativos de abundância, juntamente com dados de presença e ausência, permitem uma melhor estimativa de ambientes, quando comparada a outros métodos, e aplicável para descrever os geoambientes (Faith *et al.*, 1987; Minchin, 1987). A partir desses dados, análises mais refinadas, como a diversidade filogenética, podem explicar a estruturação das comunidades vegetais nos diferentes geoambientes (Zappi *et al.*, 2019).

Com isso, o presente trabalho tem como objetivo compreender a variação vegetacional nos diferentes geoambientes do Complexo Rupestre Ferruginoso da Fazenda Volta da Tropa em Morro do Pilar, situada na porção leste do Espinhaço, em Minas Gerais, Brasil. Além de, quantificar riqueza e abundância vegetal nos diferentes geoambientes, relacionar as distribuições das espécies com características superficiais do solo, avaliar a diversidade filogenética entre fisionomias, caracterizar e correlacionar as variáveis pedológicas que estruturam cada comunidade vegetal com a diversidade filogenética. Essa pesquisa servirá como base tanto para a elaboração do plano de manejo e conservação da área, como embasamento teórico para outros estudos relacionados às cangas do Espinhaço Meridional Leste, constituídos por ecossistemas frágeis pela degradação do seu entorno (Skiryicz *et al.*, 2014).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, Ú. R. D.; MACHADO, M. M. M.; CASTRO, P. D. T. A.; RENGER, F. E.; TREVISOL, A.; BEATO, D. A. C. 2012. **Geoparque Quadrilátero Ferrífero (MG): proposta**. CPRM.

BENITES, V.M.; CAIAFA, A.N.; MENDONÇA; E.S.; SCHAEFER, C.E.G.R.; KER, J.C. 2013. **Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e do Espinhaço**. Floresta e Ambiente, Seropédica, 10 (1): 76-85.

BRUNNER, I. & SPERISEN, C. 2013. **Aluminum exclusion and aluminum tolerance in woody plants**. Front. Plant Sci, 4: 172.

CARMO, F. F. D. 2010. **Importância ambiental e estado de conservação dos ecossistemas de cangas no Quadrilátero Ferrífero e proposta de áreas-alvo para a investigação e proteção da biodiversidade em Minas Gerais**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.

CARMO, F. D.; CARMO, F. D.; CAMPOS, I. C.; JACOBI, C. M. 2012. **Cangas: ilhas de ferro estratégicas para a conservação**. Ciência Hoje, 295(50): 48-53.

CLEMENTE, N. 2015. **Geoambientes da RPPN Serra do Caraça e feições do carste quartzítico**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 82p.

DA SILVA, M. F. 1992. **Distribuição de metais pesados na vegetação metalófica de Carajás**. Acta Botanica Brasilica, 6(1): 107-122.

DIAS, H.T. 2000. **Caracterização de pedoambientes no Parque Estadual do Ibitipoca**. Tese (Doutorado em Solos e nutrição de plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

EPSTEIN, E. 1975. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, São Paulo, Ed. Universidade de São Paulo, 344p

GREVENSTUK T. & ROMANO A. 2013. **Aluminium speciation and internal detoxification mechanisms in plants: where do we stand?** Metallomics 5: 1584-1594.

GRIFFITH, J.J. & TOY, T.J. 2001. **Evolution in revegetation of iron-ore mines in Minas Gerais state, Brazil**. Unasylva, 207(52):9-15.

HARIDASAN M. 2008. **Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils**. Brazilian Journal of Plant Physiology 20(3): 183-195.

HARIDASAN, M., & DE ARAÚJO, G. M. 1988. **Aluminium-accumulating species in two forest communities in the cerrado region of central Brazil**. *Forest ecology and management*, 24(1): 15-26.

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**. *Rev. Árvore*, 32(2): 345-353.

JACOBI, C. M.; CARMO, F. F.; CAMPOS, I. C. 2011. **Soaring extinction threats to endemic plants in Brazilian metal-rich regions**. *AMBIO*, 40: 540–543.

JACOBI, C.M. & CARMO, F.F. 2008. **Diversidade dos campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, MG**. *Megadiversidade*, 12: 26-35

JANSEN, S.; BROADLEY, M.R.; ROBBRECHT, E.; SMETS, E. 2002. **Aluminum hyperaccumulation in Angiosperms: A review of its phylogenetic significance**. *Bot. Rev.* 68: 235–269.

JOLY, A. B. 1970. **Conheça a vegetação brasileira**. São Paulo: Ed. Univ. de São Paulo e Polígono. 165p.

MACKENZIE, A. & GULDEMOND, J.A. 1994. **Sympatric speciation in aphids. II. Host race formation in the face of gene flow. In Individuals, populations and patterns in Ecology**. (S.R. Leather, A.D. Wait, N.I. Mills & K.F.A. Walters, eds.). Intercept Ltda, Andover, 379-196.

MAGALHÃES, G. M. 1966. **Sobre os cerrados de Minas Gerais**. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 38 (S): 59-70.

MARTINS, F. D. 2015. **O Conflito de Carajás: Cenários para a conservação da savana Metalófila**. Dissertação (Mestrado Profissional em Biodiversidade em Unidades de Conservação). Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

MESSIAS, M. C. T. 2011. **Fatores ambientais condicionantes da diversidade florística em campos rupestres quartzíticos e ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, 156p.

MOURÃO, A.; STEHMANN, J. R. 2007. **Levantamento da Flora do Campo Rupestre Sobre Canga Hematítica Couraçada Remanescente na Mina do Brucutu, Barão de Cocais, MG**. *Rodriguésia*, 58(4): 775-786.

NUNES J.A, SCHAEFER C.E.G.R, FERREIRA JÚNIOR W.G, NERI A.V., CORREA G.R., ENRIGHT N.H. 2015. **Soil-vegetation relationships on a banded ironstone ‘island’, Carajás Plateau, Brazilian Eastern Amazonia**. Annals of the Brazilian Academy of Sciences.

OLIVEIRA, R. S.; GALVÃO, H. C.; DE CAMPOS, M. C.; ELLER, C. B.; PEARSE, S. J.; LAMBERS, H. 2015. **Mineral nutrition of campos rupestres plant species on contrasting nutrient-impooverished soil types**. New Phytologist, 205(3): 1183-1194.

PORTO, M. L. & SILVA, M. D. 1989. **Tipos de vegetação metalófila em áreas da Serra de Carajás e de Minas Gerais, Brasil**. Acta Botanica Brasilica, 3(2): 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.

RIZZINI, C. T. 1979. **Tratado de fitogeografia do Brasil; aspectos sociológicos e florísticos**. São Paulo: HUCITEC/USP, 374p.

SANTANA, B. V. N. 2017. **Acúmulo de alumínio em cloroplastos: implicações ultraestruturais e fisiológicas**. Dissertação (Doutorado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

SARCINELLI, T.S.; SCHAEFER, C.E.G.R.; LYNCH L.S.; ARATO H.D.; VIANA J.H.M.; ALBUQUERQUE-FILHO, M.R.; GONÇALVES, T.T. 2009. **Chemical, physical and micromorphological properties of termite mounds and adjacent soils along a toposequence in Zona da Mata, Minas Gerais State, Brazil**. Catena 76: 107-113.

SCHAEFER, C. E. G. R.; NETO, E. L.; CORRÊA, G. R.; SIMASI, F. N. B.; CAMPOS, J. F.; MENDONÇA, B. A. F.; NUNES, J. A. 2016. **Geoambientes, solos e estoques de carbono na Serra Sul de Carajás, Pará, Brasil**. Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais, Belém, 11(1): 85-101.

SCHAEFER, C. E. G. R.; CANDIDO, H. G.; CORRÊA, G. R.; PEREIRA, A.; NUNES, J. A.; SOUZA, O. F.; KER, J. C. 2015. **Solos desenvolvidos sobre canga ferruginosa no Brasil: uma revisão crítica e papel ecológico de termiteiros**. Geossistemas Ferruginosos do Brasil. (Eds FF do Carmo and LHY Kamino) 77-102 pp.

SCHAEFER, C.E.G.R.; MENDONÇA, B.A.F.; RIBEIRO, A.S. 2008b. **Solos desenvolvidos sobre canga ferruginosa no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. In: Jacobi, C.M. Simpósio Afloramentos Ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero: Biodiversidade, Conservação e Perspectivas de Sustentabilidade. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Biológicas.

SEMIR, J. 1991. **Revisão taxonômica de Lychnophora Mart. (Vernoniaceae:Compositae)**. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - UNICAMP, Campinas, São Paulo. 515p

SILVA, H. Z. 2001. **Hidrogeologia de regiões mineiras**. Rem: Revista Escola de Minas, 54(3): 199-204.

SILVEIRA, F.A.O.; NEGREIROS, D.; BARBOSA, N.P.U.; BUISSON, E.; CARMO, F.F.; CARSTENSEN, D.W.; CONCEIÇÃO, A.A.; CORNELISSEN, T.G.; ECHTERNACHT, L.; FERNANDES, G.W.; GARCIA, Q.S.; GUERRA, T.J.; JACOBI, C.M.; LEMOS-FILHO, J.P.; LE STRADIC, S.; MORELLATO, L.P.C.; NEVES, F.S.; OLIVEIRA, R.S.; SCHAEFER, C.E.; VIANA, P.L.; LAMBERS, H., 2016. **Ecology and evolution of plant diversity in the endangered campo rupestre: aneglected conservation priority**. Plant Soil, 403: 129–152.

SKIRY CZ, A.; CASTILHO, A.; CHAPARRO, C.; CARVALHO, N.; TZOTZOS, G.; SIQUEIRA, J. O. 2014. **Canga biodiversity, a matter of mining**. Frontiers in plant science, 5: 653.

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

VINCENT, R. C. 2004. **Florística, fitossociologia e relações entre a vegetação e o solo em área de campos ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. Tese (Doutorado em Ecologia - Instituto de Biociências). Universidade de São Paulo, São Paulo. 145 p

WWF INTERNATIONAL & IUCN. 1999. **Metals from the forests: Mining and forest degradation**. Arborvitae (n/e): 1-40.

CAPÍTULO I

RELAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO EM COMPLEXO FERRUGINOSO ISOLADO EM MORRO DO PILAR, MINAS GERAIS, BRASIL

RESUMO

MARTINS, Samara Azevedo de Jesus, M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2021. **Relação Solo-Fitossociologia em Complexo Ferruginoso isolado em Morro Do Pilar, Minas Gerais, Brasil.** Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Coorientador: Hugo Galvão Candido.

Os Complexos Rupestres Ferruginosos (CRFs) sobre cangas constituem topos de serra, e podem representar IMPORTANTES divisores hidrológicos de bacias hidrográficas do Brasil. Frequentemente submetidos às pressões econômicas pela mineração, esses ecossistemas possuem flora com alto grau de endemismo e, a fim de protegê-los da degradação antrópica, a compensação ambiental em área equivalente é exigida por lei, tornando necessário conhecer as cangas em sua dinâmica ecológica em estudos comparativos. Nesse sentido, estudos fitossociológicos e pedológicos contribuem para compreensão dos fatores que moldam e sustentam essas comunidades, inferindo aspectos como composição, diversidade e distribuição espacial da vegetação dominante. Apesar disso, existem ainda poucos estudos fitossociológicos associados aos pedológicos realizados nas Cangas do Brasil, sobretudo na região leste/sul da Cadeia do Espinhaço. O município de Morro do Pilar, localizado na região sudeste do Espinhaço, possui uma importante área de canga isolada desenvolvida de itabirito, oferecida pela Anglo American como área de compensação à área de expansão de cava da Serra da Serpentina. Os CRFs da região, em estado de vulnerabilidade pela pressão urbana, não tinham até a presente data registros de dados fitossociológicos e pedológico. Nesse sentido, este trabalho buscou investigar duas fitofisionomias e solos associados no Complexo Rupestre Ferruginoso da Fazenda Volta da Tropa, situado no município Morro do Pilar, Minas Gerais. Foram alocadas um total de 80 parcelas (5 x 5 m), nas quais todos os indivíduos de cada espécie foram contabilizados e classificados quanto à cobertura populacional. Amostras de solo (0-20 cm) foram coletadas em cada parcela da fitossociologia. Foram calculadas para cada espécie nas duas fitofisionomias, os valores de importância, densidade, frequência e cobertura, bem como realizadas análises estatísticas como nMDS, PCA e CCA. Registrou-se 5.280 indivíduos (CRAB = campo rupestre aberto: 3.002; CRAR = campo rupestre arbustivo: 2.278), distribuídos em 59 espécies e 28 famílias, das quais as mais representativas foram Asteraceae (6), Myrtaceae (6), Fabaceae (5) e Malpighiaceae (4). Dentre as espécies amostradas, 36 são endêmicas do Brasil, das quais oito só ocorrem em Minas Gerais. No CRAB, as espécies de maior valor de importância foram *Periandra mediterranea*, *Vellozia* sp. e *Evolvulus scoparioides*, o índice de diversidade de Shannon (H') e o índice de equabilidade de Pielou (J') foram respectivamente,

1,78 e 0,52. Para o CRAR as espécies de maior valor de importância foram *Apochloa euprepes*, *Periandra mediterrânea* e *Pseudobrickellia brasiliensis*, e o $H' = 2,384$ e $J' = 0,60$. O nMDS mostrou que os dois geoambientes se separam como comunidades vegetais distintas. A maior cobertura vegetal foi registrada no CRAR, devido à abundância de fanerófitas. O CRAB apresentou maior abundância e menor riqueza, enquanto que o CRAR apresentou o oposto. A CCA indicou que o CRAB teve uma correlação positiva com P, Zn, Fe, K, H+Al, CTC, Cu, silte e argila, enquanto o CRAR mostrou correlação positiva com areia fina e profundidade do solo. As duas fitofisionomias foram consideradas estruturalmente como dois geoambientes distintos, permitindo inferir que apresentam papéis ecológicos diferentes.

Palavras-chave: Canga. Ecologia de Comunidades. Campo Rupestre. Relação solo-vegetação.

ABSTRACT

MARTINS, Samara Azevedo de Jesus, M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, August, 2021. **Soil-Phytosociology Relationship in a Ferruginous Complex isolated in Morro Do Pilar, Minas Gerais, Brazil.** Adviser: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Co-adviser: Hugo Galvão Candido.

The Ferruginous Rupestrian Grassland Complex (FRGC) on cangas constitute mountain tops, and eventually may represent hydrological dividers of important hydrographic basins in Brazil. Often subjected to economic pressures by mining, these ecosystems have flora with a high degree of endemism and, in order to protect them from anthropogenic degradation, environmental compensation in an equivalent area is required by law, making it necessary to know the cangas in their ecological dynamics in comparative studies. From this perspective, phytosociological and pedological studies contribute to the understanding of the factors that shape and sustain these communities, inferring aspects such as composition, diversity and spatial distribution of the dominant vegetation. Despite this, there are still few phytosociological studies associated with pedological studies carried out in Cangas do Brasil, especially in the east/south region of the Cadeia do Espinhaço. The municipality of Morro do Pilar, located in the Espinhaço's southeast region, has an important area of isolated canga developed from itabirite, offered by Anglo American as a compensation area in the expansion of the Serra da Serpentina pit. The FRGC in the region, in a state of vulnerability due to urban pressure, had no records of phytosociological and pedological data to date. In this context, this work investigated two phytophysionomies and associated soils in the FRGC of the Fazenda Volta da Tropa, located in the municipality of Morro do Pilar, Minas Gerais. A total of 80 plots (5 x 5 m) were allocated, where all individuals were counted and classified according to population coverage. Soil samples (0-20 cm) were collected in each phytosociology plot. The values of importance, density, frequency and coverage were calculated for each species in the two phytophysionomies, as well as statistical analyzes such as nMDS, PCA and CCA. Were registred 5,280 (CRAB = open rupestrian field: 3,002; CRAR = shrubby rupestrian field: 2,278), distributed in 59 species and 28 families, of which the most representative were Asteraceae (6), Myrtaceae (6), Fabaceae (5) and Malpighiaceae (4). Among the species sampled, 36 are endemic to Brazil, of which eight only occur in Minas Gerais. In CRAB, the species with the highest importance were *Periandra mediterranea*, *Vellozia* sp. and *Evolvulus scoparioides*, with Shannon's diversity index (H') and Pielou's evenness index (J') of 1.78 and 0.52. For CRAR, the species with the highest importance were *Apochloa euprepes*, *Periandra*

mediterranea and *Pseudobrickellia brasiliensis*, with $H' = 2.384$ and $J' = 0.60$. The nMDS showed that the two geoenvironments separate as distinct plant communities. The greatest vegetation cover was recorded in CRAR, with many phanerophytes. CRAB had greater abundance and lesser richness, while CRAR had the opposite. CCA indicated that CRAB had a positive correlation with P, Zn, Fe, K, H+Al, CTC, Cu, silt and clay, while CRAR showed a positive correlation with fine sand and soil depth. The two phytophysiognomies were structurally considered as two distinct geoenvironments, allowing us to infer that they have different ecological roles.

Keywords: Canga. Community Ecology. Rupestre Field. Soil-vegetation relationship.

1. INTRODUÇÃO

Os Complexos Rupestres Ferruginosos (CRFs) se localizam em frequência nos divisores naturais de água que podem separar bacias de captação, como no caso do Espinhaço Meridional, cujas nascentes abastecem o Rio São Francisco e o Rio Doce. Além de divisores hidrográficos, também podem atuar na separação de biomas como o Cerrado e a Mata Atlântica (Santos *et al.*, 2011; IGEL *et al.*, 2012).

A mineração é um dos principais agentes modificadores dos Complexos Rupestres Ferruginosos sobre canga. Milanez (2017) cita que esse tipo de extração possui cinco fatores que afetam a sociodiversidade local: mudanças nas paisagens; emissões atmosféricas; alto consumo e contaminação de recursos hídricos; possível rebaixamento e comprometimento no abastecimento dos lençóis freáticos; e riscos de contaminação dos corpos d'água. Quando modifica o ambiente, interfere na dinâmica flora-polinizadores-dispersores, comprometendo o sucesso reprodutivo da flora local (Jaccobi *et al.*, 2008).

A fim de proteger esses ecossistemas, a Lei da Mata Atlântica - Lei Federal nº 11.428 - (Brasil, 2006), em seu decreto regulamentador (Decreto Federal nº 6.660, 2008), enquadrando legalmente os campos de altitude como protegidos. Então, de acordo com o art. 17, inciso II do art. 32 da lei supracitada, o corte da vegetação primária ou em estágio médio/avançado de regeneração impõe necessidade de compensação ambiental. Tal compensação consiste em preservar área equivalente territorialmente, ecologicamente, além de localizar-se na mesma bacia/microbacia hidrográfica (IGEL *et al.*, 2012; Vasconcelos, 2014).

Além da Lei da Mata Atlântica, os Complexos Rupestres também já foram inclusos na lei conhecida como “Código de Minas” (Decreto-lei nº 1.985, 1940), e posteriormente “Código de Mineração” (Decreto-lei nº 227, 1967). Atualmente, o Código de Mineração sofreu alterações (pelas medidas provisórias 789, 790 e 791) na alíquota da CFEM (Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais), e houve a criação da Agência Nacional de Mineração (ANM) e novas regras e tributos estaduais (Brasil, 2017).

Para a aplicação das leis ambientais, os estudos fitossociológicos e pedológicos que são realizados nas Cangas brasileiras permitem uma melhor compreensão dos fatores que moldam e sustentam suas comunidades vegetais (Lemes *et al.*, 2009; Messias *et al.*, 2012). Ao compreender esses fatores, é possível inferir características como composição, diversidade e distribuição espacial da vegetação dominante, e assim, estabelecer parâmetros tanto para a preservação das interações bióticas e abióticas, quanto para a reabilitação de áreas degradadas

por ações antrópicas, e nas compensações ambientais previstas em lei (Lima *et al.*, 2006; Abreu *et al.*, 2012; Vasconcelos, 2014; Nunes *et al.*, 2015).

Existem poucos estudos correlacionando a fitossociologia à pedologia em Cangas do Brasil, gerando uma lacuna de conhecimento sobre esses únicos ecossistemas, ricos em endemismo e fragilizados pela exploração mineral (Jaccobi *et al.*, 2008; do Carmo *et al.*, 2015; Milanez, 2017). A maioria desses estudos foi realizada na Serra dos Carajás no Pará (Silva, 1992; Nunes, 2009; Nunes *et al.*, 2015; Salomão *et al.*, 2019), e na região norte/oeste do Espinhaço, próximo às rodovias de fácil acesso (Carmo & Jacobi, 2013; Filho *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2020; Simões *et al.*, 2020; Varejão *et al.*, 2020), evidenciando a necessidade de se explorar a borda leste do Espinhaço que pode apresentar influências ambientais diferentes, como por exemplo variações microclimáticas proporcionadas pela orientação da vertente de exposição à insolação na encosta (Ferreira *et al.*, 2012). Ou seja, vegetações das vertentes voltadas para a região equatorial podem apresentar características diferentes daquelas vertentes voltadas para as regiões polares (Alves, 2005; Luz, 2005; Bernardes *et al.*, 2012; Martinez, 2017).

Assim, Morro do Pilar se destaca por sua importância estratégica. Além de ser um município com inserção nos Biomas Cerrado e Mata Atlântica localizado na região leste do Espinhaço (MMA, 2007) que é pouco estudada, também possui Complexos Rupestres Ferruginosos em área isolada, desenvolvida de itabiritos (Guimarães, 1992), como o encontrado na Fazenda Volta da Tropa (com inserção no Bioma Mata Atlântica) que foi adquirida pela Anglo American para condução de estudos a fins de compensação, bem como para revelar suas características singulares, suas semelhanças florísticas com outros Complexos Rupestres e peculiaridades na relação solo-vegetação.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral:

Compreender as peculiaridades na variação vegetacional de dois geoambientes (campo rupestre aberto; campo rupestre arbustivo) ocorrentes no Complexo Rupestre Ferruginoso isolado da Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais.

2.2. Objetivos específicos:

- Quantificar a riqueza e abundância na vegetação local em dois geoambientes, próximos espacialmente.

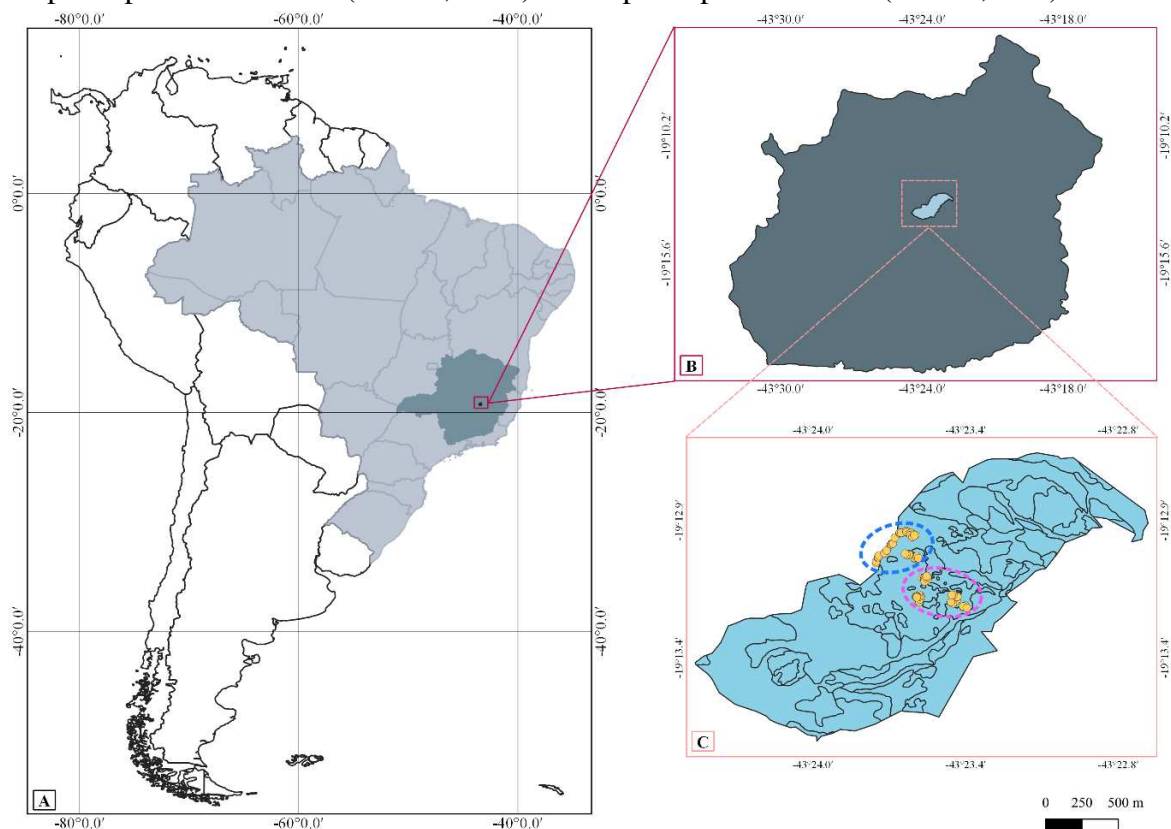
- Relacionar a distribuição das diferentes espécies vegetais às características edáficas nos dois geoambientes.
- Aferir se há diferenças significativas entre os dois geoambientes amostrados.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no Complexo Rupestre Ferruginoso da Fazenda Volta da Tropa, situado no município Morro do Pilar, Minas Gerais (Figura 1.1). O município está inserido na porção leste da Serra do Espinhaço, região central de Minas Gerais, abrangendo cerca de 477,548 km² (IBGE, 2019). A Fazenda Volta da tropa, adquirida pela Anglo American para realização de estudos a fins de compensação, está inserida nas coordenadas 19°13'15" S e 43°23'30" W, no Bioma Mata Atlântica. O clima, segundo a classificação Köppen-Geiger, é Cwb (mesotérmico úmido), com verões brandos e invernos secos. A temperatura média é de 20°C, a precipitação total anual é de 1.400 mm (INMET, 2019) e a vegetação predominante na região é Floresta Estacional Semidecidual.

Figura 1. 1.Mapa geográfico da área de estudo (A), município de Morro do Pilar (B), área de estudo – Fazenda Volta da Tropa (C). As elipses tracejadas, indicadas em C, representam o Campo Rupestre Arbustivo (CRAR; Azul) e Campo Rupestre Aberto (CRAB; rosa).

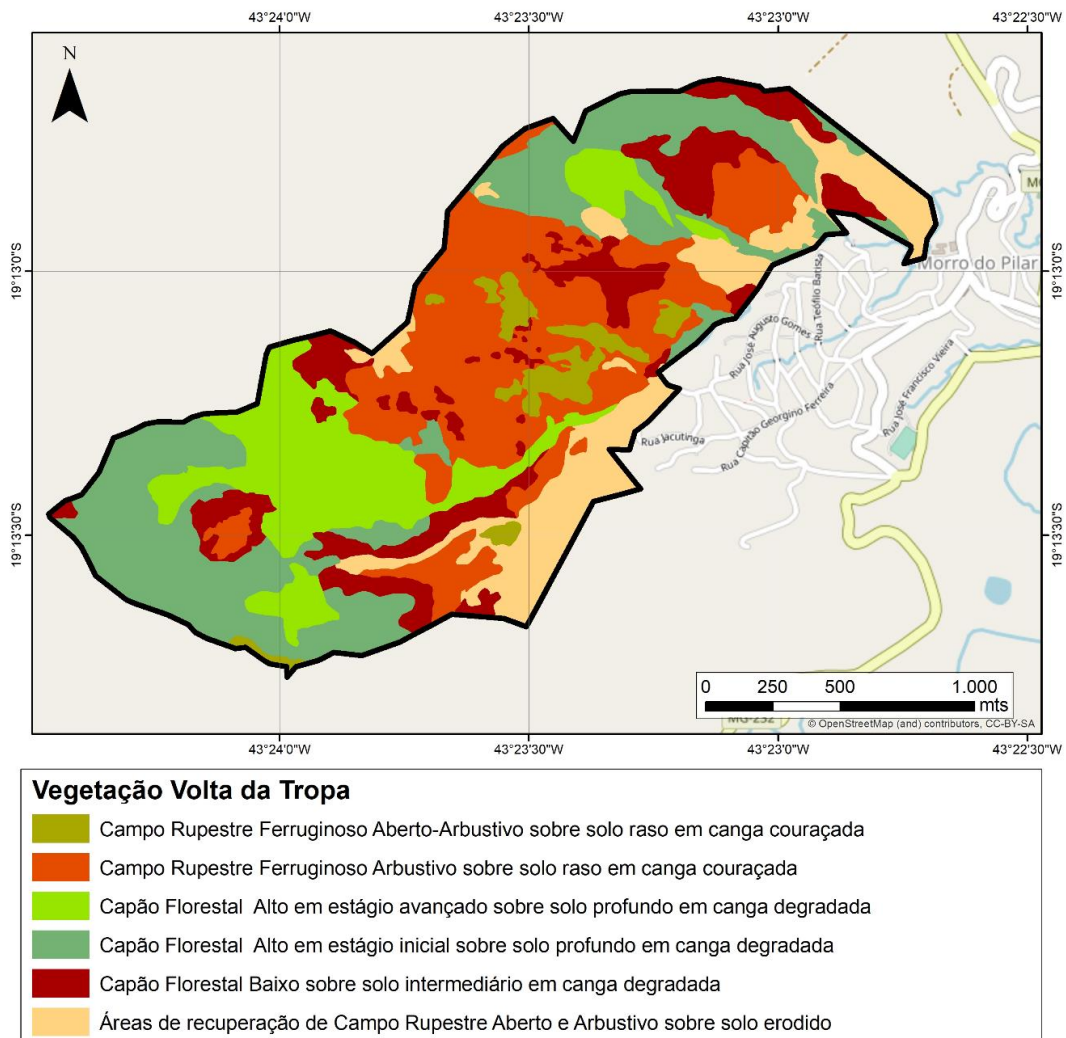


Fonte: Martins (2021)

O município apresenta formações pré-cambrianas cuja base possui o Complexo Cristalino (rochas metamórficas – gnaises bandados e granitos foliados), recobertos pela sequência Mata-Cavalo (rochas meta-ultramáficas) (Rios & Abreu, 2014); as últimas possuem antigas lavras de ouro e platina (Rios & Abreu, 2014). Na porção central do município há presença de rochas ferruginosas do Grupo Serra da Serpentina, representando formações ferríferas bandadas com cobertura de canga e solos ferruginosos provenientes de degradação dessa couraça laterítica (sinônimos: canga, ferricrete, couraça ferruginosa, petroplintita).

Em relatório elaborado por Schaefer et al. (2019), foram delimitados e identificados seis geoambientes na Fazenda Volta da Tropa (Figura 1.2), todos desenvolvidos de canga ferruginosa; destes, foram selecionados dois para estudos detalhados: Campo Rupestre Aberto e Campo Rupestre Arbustivo.

Figura 1. 2. Mapas de geoambientes ocorrentes na Fazenda Volta da Tropa, Minas Gerais, Brasil



Fonte: Schaefer *et al.* (2019).

3.2. Amostragem e Caracterização da Vegetação em cada geoambiente

Dois geoambientes foram selecionados ao estudo: CRAB – campo rupestre aberto (predominância da vegetação herbácea; vegetação arbustiva esparsa com pouca cobertura foliar); e CRAR – campo rupestre arbustivo (predominância da vegetação arbustiva com maior cobertura foliar; vegetação herbácea esparsa), cujas áreas foram previamente escolhidas através do mapa geoambiental acima ilustrado (Figura 1.2). Em cada geoambiente, foram alocadas 40 parcelas (5 x 5 m), totalizando 80 parcelas, para levantamento fitossociológico (Figura 1.1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**C). Sempre que possível, a amostragem foi realizada em porções homogêneas do geoambiente, seguindo transecto de direção noroeste, equidistantes em, no mínimo, 5 m umas das outras. No levantamento fitossociológico foi utilizado o método de parcelas adaptado de Felfili *et al.* (1994; 2001; 2004) e Felfili & Silva Júnior (2001), para comparar a composição, riqueza e diversidade da área, aferindo o grau de conservação de cada geoambiente.

Todos os indivíduos presentes dentro das parcelas foram contabilizados e para cada espécie foi realizada a porcentagem de cobertura da população, utilizando o método Braun-Blanquet (1979). Com os dados extraídos de cada parcela, foram realizadas análises de riqueza, abundância e composição de espécies. As espécies amostradas nas parcelas foram identificadas por especialista em campo. Os espécimes férteis, que ocorreram nas parcelas, foram coletados de acordo com os procedimentos usuais de trabalho de campo e de herborização (Bridson & Forman, 1998), identificados conforme o sistema de classificação APG IV (APG IV, 2016), e posteriormente depositados no herbário VIC - Universidade Federal de Viçosa (UFV).

3.3. Coleta de Solos Superficiais

A fim de classificar o ambiente físico-edáfico e posteriormente relacioná-lo à distribuição espacial das espécies herbáceas-arbustivas, uma amostra simples de solo foi coletada no centro de cada parcela de fitossociologia, na profundidade de 0 a 20 cm. As amostras foram coletadas em sacos de polietileno, devidamente identificadas, e posteriormente colocadas para secar à temperatura ambiente. Após a secagem, foram destorroadas e peneiradas, em malha de 2 mm, para retirar raízes, folhas e material grosseiro e enviadas para análise de rotina no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, de acordo com os protocolos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2017). Ainda, em cada parcela, foi medida a profundidade do solo até a camada litológica, com auxílio de um vergalhão, marreta e fita métrica.

Na análise, foram avaliados os níveis de acidez ativa (pH), teores de P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu, acidez trocável (Al) e potencial (Al+H), soma de bases (SB) e saturação por bases (V), capacidade de troca catiônica a pH 7 – CTC - (T) e efetiva (t), saturação por alumínio (m), além dos teores de matéria orgânica (MO) e fósforo remanescente (P-rem).

3.4. Análises estatísticas

A estrutura fitossociológica foi realizada segundo Braun-Blanquet (1979) e Kent (2012), em que a importância de cada espécie foi calculada por seu valor de importância (VI), soma da densidade relativa (DR), frequência relativa (FR) e cobertura relativa (CR), utilizando o software Excel (Microsoft, 2010).

Os dados quantitativos de abundância (baseados em padrões das espécies mais comuns, que possuam uma maior distribuição, ocorrendo em áreas com diferentes abundâncias), juntamente com dados de presença e ausência (que contribuam na diferenciação qualitativa dentre as áreas), permitem uma melhor estimativa de ambientes, quando comparada a outros métodos, e aplicável para descrever os geoambientes (Faith et al., 1987; Minchin, 1987), reduzindo a dimensionalidade dos dados e levando a um número que expressa a proporção da espécie em relação à abundância total de indivíduos por parcela (Ducker et al., 2008).

A diversidade taxonômica foi calculada para cada geoambiente. Para tanto, foi utilizado o cálculo do índice de diversidade de Shannon-Wiener e equabilidade de Pielou (Magurran, 2004). A similaridade florística entre as fitofisionomias foi calculada pelo índice de Jaccard (Magurran, 1988). O estimador de riqueza, não-paramétrico, Chao1 foi utilizado para comparar a riqueza de espécies estimada entre os geoambientes, por ser um estimador que se baseia na abundância e que leva em consideração o número de espécies raras das amostras, característica comumente encontrada no tipo de ambiente em questão (Silveira et al., 2015).

As curvas de rarefação florística dos geoambientes foram analisadas no programa R i386 3.5.3 (R: A language and environment for statistical computing, 2019), utilizando o pacote ‘iNEXT’ (Chao et al., 2014).

Os testes Shapiro-Wilk e Mann Whitney foram utilizados, respectivamente, para verificar a normalidade da distribuição dos dados e para comparar as medianas registradas de abundância, riqueza e cobertura entre as fisionomias amostradas.

Na relação solo-vegetação, para averiguar as diferenças químicas entre os geoambientes amostrados, foi utilizado o teste Shapiro-Wilk, teste t de Student e teste Mann

Whitney (Zar, 1996), calculando os coeficientes de correlação linear Pearson, sugerindo assim quais variáveis poderiam estar correlacionadas com as diferenças de vegetação encontradas em cada área.

Foi realizada a Análise de Componentes Principais (PCA), para obter detalhes das características do solo e como se distribuem ao longo das unidades geoambientais, com variáveis físicas e químicas das amostras superficiais de cada parcela, utilizando o programa R versão 3.6.3 (R Development Core Team, 2019), e os pacotes Ggplot2 e Vegan.

Em seguida, foi realizada a análise de correspondência canônica (CCA) (Ter Braak, 1987) com o intuito de estabelecer quais variáveis edáficas (propriedades do solo de cada parcela) estariam atuando na distribuição (com base na riqueza e abundância), riqueza e diversidade das espécies de cada geoambiente, ou seja, quais variáveis ambientais estariam influenciando na fitofisionomia de cada comunidade.

Por último, foi realizado o escalonamento multidimensional não-métrico (nMDS) que permite a utilização de qualquer coeficiente de similaridade, além de minimizar o stress (Standard Residuals Sum of Squares) após o escalonamento. Facilitando a visualização da relação das unidades amostrais escolhidas, compreendendo se há dissimilaridades (ou similaridades) nos dados amostrais utilizados da vegetação; a partir dos dados de composição (presença e ausência) e estrutura (abundância) da comunidade indicando como esses dois resultados estão interligados.

4. RESULTADOS

4.1. Fitossociologia

Foram registrados 5.280 indivíduos (campo rupestre aberto: 3.002; campo rupestre arbustivo: 2.278), distribuídos em 59 espécies e 28 famílias (APÊNDICE A - Tabela 1). Dentre as famílias, as mais representativas foram Asteraceae (6), Myrtaceae (6), Fabaceae (5) e Malpighiaceae (4). Apenas seis espécies foram classificadas quanto ao risco de extinção (CNFLORA, 2012): pouco preocupante (LC) – *Acianthera teres*, *Byrsonima variabilis*, *Ditassa aequicymosa*, *Erythroxylum pelleterianum* e *Lafoensia pacari*; em perigo (EM) – *Barbacenia delicatula*. Das espécies amostradas, 36 são endêmicas do Brasil, das quais quatro são restritas a Minas Gerais e Bahia e oito são exclusivas do estado de Minas Gerais. Duas espécies permanecem sem identificação (*Persea* sp. e *Vellozia* sp.). As análises iniciais sugerem que *Vellozia* sp. provavelmente constitui uma nova espécie.

Entre campos rupestres aberto e arbustivo houve co-ocorrência de 23 espécies: *Acianthera teres*, *Apochloa euprepes*, *Byrsonima variabilis*, *Calliandra fasciculata*,

Centrosema brasilianum, *Coccoloba acrostichoides*, *Cordia concolor*, *Cuphea ericoides*, *Eremanthus incanus*, *Eugenia puniceifolia*, *Eugenia sonderiana*, *Heteropterys eglandulosa*, *Hoplocryanthus ferrarius*, *Kielmeyera regalis*, *Lippia origanoides*, *Miconia alborufescens*, *Microstachys hispida*, *Peixotoa tomentosa*, *Periandra mediterrânea*, *Pseudobrickellia brasiliensis*, *Stachytarpheta glabra*, *Trixis vauthieri* e *Vellozia* sp.

- Campo Rupestre aberto (CRAB)

Para esse geoambiente foram amostradas 30 espécies, inseridas em 18 famílias (APÊNDICE A - Tabela 1). As espécies com maior valor de importância foram, em ordem decrescente: *Periandra mediterranea*, *Vellozia* sp. e *Evolvulus scoparioides* (APÊNDICE A – Tabela 2). O índice de diversidade de Shannon (H') e o índice de equabilidade de Pielou (J') para este geoambiente foram, respectivamente, 1,78 e 0,52, valores semelhantes aos encontrados em CRABs de cangas.

- Campo Rupestre arbustivo (CRAR)

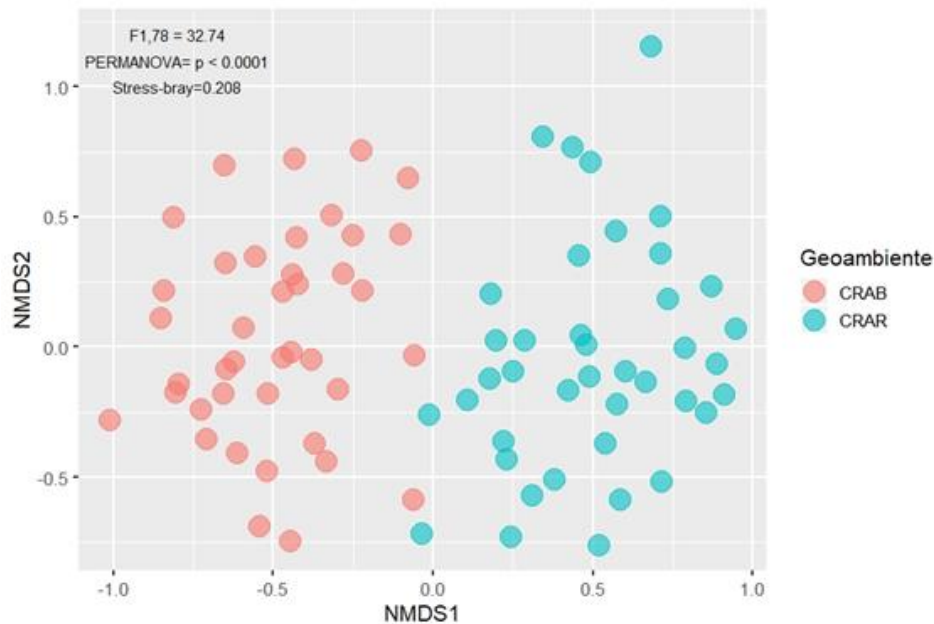
Para esse geoambiente foram amostradas 52 espécies, inseridas em 26 famílias (APÊNDICE A – Tabela 1). As espécies com maior valor de importância foram, em ordem decrescente: *Apochloa euprepes*, *Periandra mediterrânea* e *Pseudobrickellia brasiliensis* (APÊNDICE A – Tabela 3). O índice de diversidade de Shannon (H') e o índice de equabilidade de Pielou (J') para este geoambiente foram, respectivamente, 2,384 e 0,60, valores semelhantes aos encontrados em CRARs de cangas.

4.2. Escalonamento multidimensional não-métrico (nMDS)

O nMDS realizado com os dados da vegetação considerou riqueza e abundância, e dessa forma demonstrou que o Campo Rupestre Aberto (CRAB) e o Campo Rupestre Arbustivo (CRAR) apresentam dissimilaridade na composição e estrutura vegetal, que separam esses ambientes em duas comunidades vegetais diferentes (Figura 1.3).

Apesar da co-ocorrência de 23 espécies entre os dois ambientes, o nMDS considera caracteres para além de presença e ausência que configuram a comunidade, e dessa forma, quando leva em consideração a abundância dos indivíduos por espécie, resulta na distinção entre as duas áreas estudadas.

Figura 1. 3.NMDS da relação florística entre Campo Rupestre Aberto (CRAB) e Campo Rupestre Arbustivo (CRAR) situados no Complexo Rupestre Ferruginoso na Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais, Brasil.

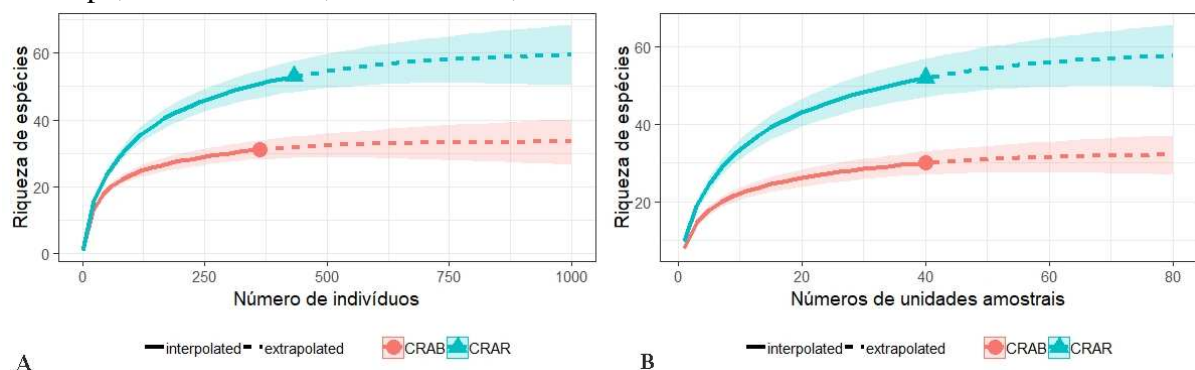


Fonte: Martins (2021).

4.3. Análises estatísticas da vegetação

Dentre as duas fitofisionomias, o CRAR apresentou maior riqueza de espécies (30 spp. para CRAB; 52 spp. para CRAR) (Figura 1.4). A curva do coletor (embasada na relação espécie-área) transpareceu que a composição florística de ambos os geoambientes foi suficientemente amostrada em número de indivíduos (Figura 1.4A) e em área (número de parcelas utilizadas) (Figura 1.4B).

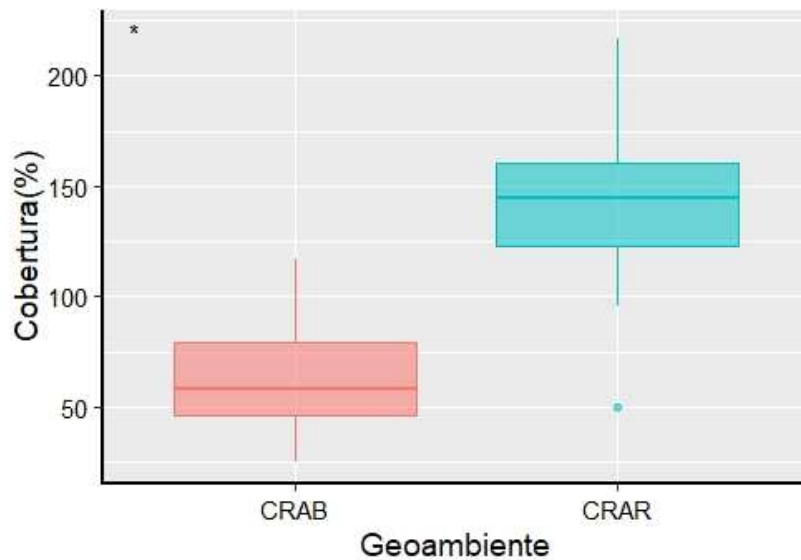
Figura 1. 4. Curva de rarefação florística baseada em número de indivíduos (A) e unidades amostrais (B) (linha sólida), com extrapolação (linha tracejada) e desvio-padrão (sombreado) da riqueza de espécies de dois geoambientes (rosa – CRAB: campo rupestre aberto; a aberto; azul – CRAR: campo rupestre arbustivo), do Complexo Rupestre Ferruginoso na Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Martins (2021).

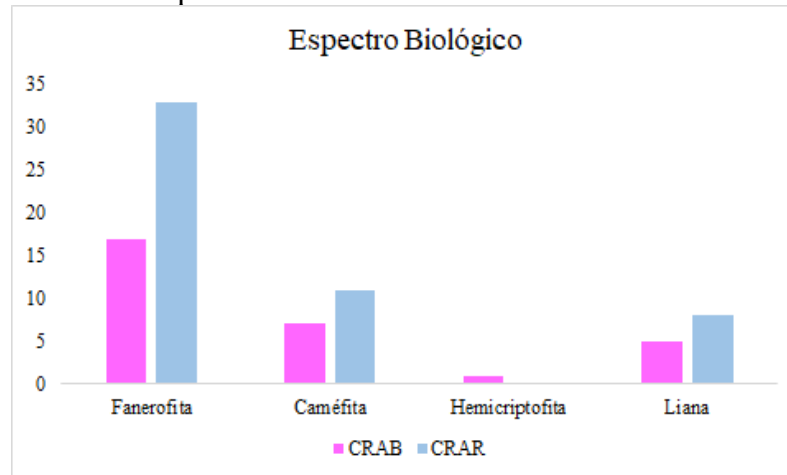
Com relação à cobertura vegetal (Figura 1.5), o CRAR apresentou maior cobertura com dados assimétricos negativos (linha mediana próxima ao terceiro quartil), enquanto que os dados do CRAB apresentaram assimetria positiva (linha mediana próxima ao primeiro quartil). Para o CRAR, segundo Raunkiaer (1934), foram registradas 33 fanerófitas, 11 caméfitas e 8 lianas, enquanto que para o CRAB houve um total de 17 fanerófitas, 7 caméfitas, 1 hemicriptófito e 5 lianas (Figura 1.6). As variações da abundância (Figura 1.7A) e riqueza (Figura 1.7B) no geoambiente CRAR foram menores se comparadas ao geoambiente CRAB.

Figura 1.5. Percentual de cobertura da vegetação em cada geoambiente. Onde, CRAB = Campo Rupestre Aberto; CRAR = Campo Rupestre Arbustivo. Realizado no Complexo Rupestre Ferruginoso na Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais, Brasil. Onde, o asterisco (*) simboliza que houve diferença significativa; os boxplots representam a dispersão, 50% dos valores da cobertura; o outlier (ponto abaixo da linha transversal) representa um valor atípico; as extremidades das linhas transversais representam os valores mínimo e máximo; e a linha horizontal é a mediana.



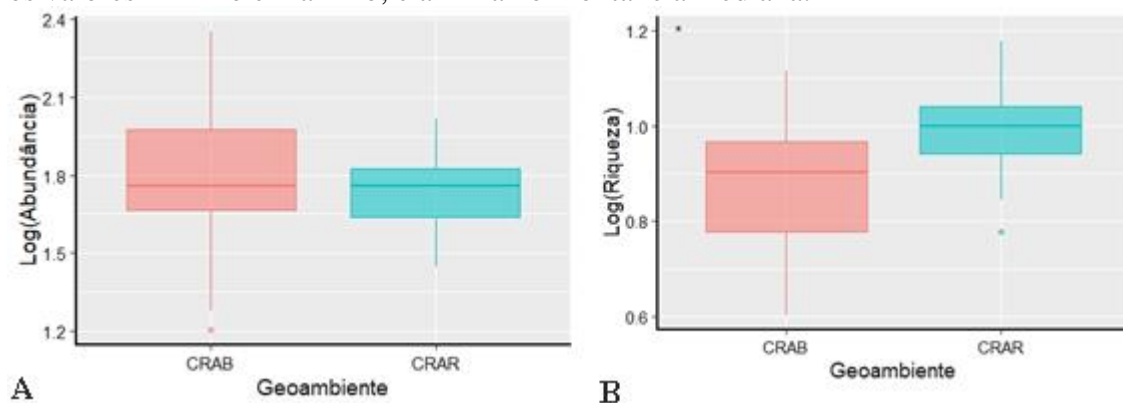
Fonte: Martins (2021).

Figura 1. 6. Espectro biológico segundo o sistema proposto por Raunkiaer, realizado na Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais, Brasil. Onde, o eixo y representa o número de espécies, e no eixo x: fanerófitas = gemas de renovo expostas; 34améfitas = gemas renovo próximas ao solo; hemicriptófitas = gema de renovo protegido em detritos orgânicos; liana = crescem agarradas em outras plantas.



Fonte: Martins (2021).

Figura 1. 7. Abundância (A) e riqueza (B) registradas nos dois geoambientes amostrados no Complexo Rupestre Ferruginoso na Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais, Brasil. Onde, o asterisco (*) simboliza que houve diferença significativa; os boxplots representam a dispersão, 50% dos valores da cobertura; o outlier (ponto abaixo da linha transversal) representa um valor atípico; as extremidades das linhas transversais representam os valores mínimo e máximo; e a linha horizontal é a mediana.



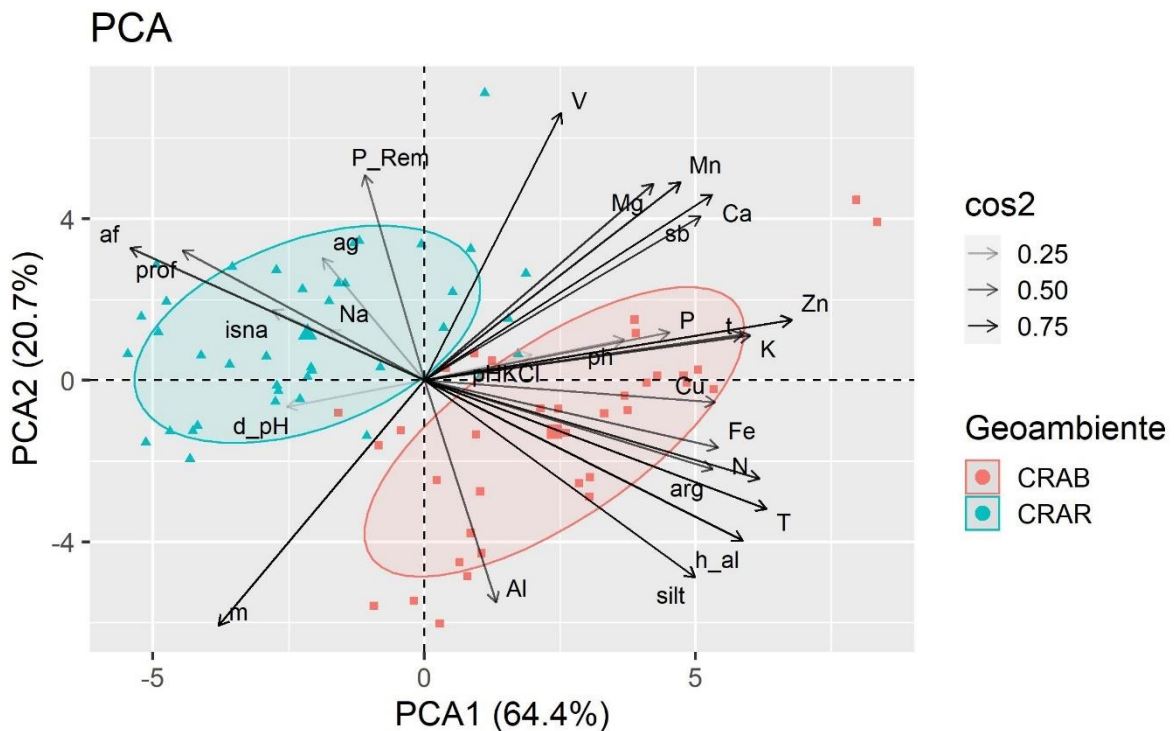
Fonte: Martins (2021).

O teste Shapiro-Wilk evidenciou que os dados de CRAB e CRAR para abundância, riqueza e cobertura não se ajustam à uma distribuição normal (APÊNDICE A – Tabela 4). O teste não paramétrico Mann-Whitney mostrou que há diferenças estatisticamente significativas em riqueza e cobertura, onde apresentaram valor de $p < 0,05$ (APÊNDICE A – Tabela 4).

4.4. Caracterização dos solos superficiais

Os dois geoambientes possuem solos distróficos, ácidos, rasos e com baixa CTC. Contudo, as duas fisionomias apresentaram divergência com referência à disponibilidade de elementos no solo. O CRAB apresentou maior relação com a concentração de nutrientes em geral (APÊNDICE A - Tabela 5), quando comparado ao CRAR, com resultado oposto ao fósforo remanescente (P-Rem) (Figura 1. 8). A PCA total evidenciou a heterogeneidade dos dois geoambientes com explicação de 64,4% da variação encontrada no eixo (Figura 1. 8). De acordo com a PCA total, em CRAB os componentes T, t, K, N, Zn, H+Al, argila e silte são os que mais contribuíram para essa separação, enquanto que em CRAR a areia fina foi que mais contribuiu, seguida da profundidade e P-remanescente (Figura 1. 8).

Figura 1. 8. Gráfico da PCA total (química e física) do solo. Realizado na Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais, Brasil. Onde af= areia fina; ag= areia grossa; silt= silte; arg= argila; prof= profundidade; t= Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; T = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V= Índice de Saturação por Bases; m= Índice de Saturação por Alumínio ISNa= Índice de Saturação por Sódio; MO (Mat. Orgânica) = C.Org x 1,724 - Walkley-Black; P-rem= Fósforo Remanescente S- Extrator= Fosfato monocálcico em ácido acético; B - Extrator= água quente; N - N total= Digestão sulfúrica - Destilação Kjeldhal. Cos2=peso das variáveis ambientais para explicar a relação delas com os eixos.



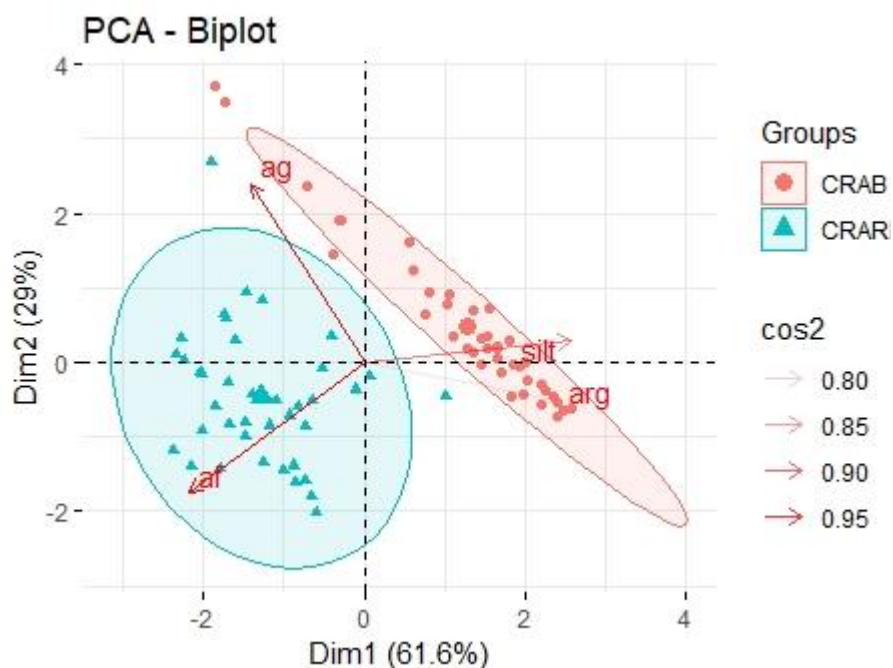
A variação das concentrações químicas e físicas do solo nos dois geoambientes demonstrou distribuição normal para pH (H₂O e KCl), Al³⁺, m, Fe, areia fina e argila

(APÊNDICE A – Tabela 5). Enquanto que P, K, Na, Ca, Mg, H+Al, SB, t, T, V, MO, P-rem, Cu, Mn, Zn, areia grossa e silte apresentaram distribuição não paramétrica (APÊNDICE A – Tabela 5). Dentre os paramétricos, o teste t de Student demonstrou que pH(H₂O), Al³⁺, argila e areia fina apresentaram diferenças significativas com valor de $p < 0,05$. Já dentre os não paramétricos, o teste Mann-Whitney demonstrou que P, K, Na, H+Al³⁺, t, T, ISNa, MO, Cu, Zn e silte apresentaram diferenças significativas com valor de $p < 0,05$ (APÊNDICE A – Tabela 5).

O teste de correlação de Pearson (APÊNDICE A – Figura S6) demonstrou que entre as propriedades do solo somente H+Al³⁺ e T apresentaram correlação positiva (+1). Ademais, as correlações positivas (0,9) foram: Ca e SB; Mg e Mn; Mn e Ca; Na e ISNa; silte e H+Al³⁺. E, as correlações negativas (-0,9) foram: m e Ca; m e V.

A PCA granulométrica do solo da Fazenda Volta da Tropa apresentou um poder de explicação no eixo 1 de 61,6% da variação encontrada, com clara separação de CRAB e CRAR (Figura 1. 9). A areia fina apresentou relação com o ambiente arbustivo (CRAR), o qual mostrou maior profundidade do solo (APÊNDICE A – Tabela 6). Já o ambiente aberto (CRAB) apresentou uma maior presença de areia grossa, silte e argila, com solos mais rasos e pedregosos.

Figura 1. 9. Gráfico de PCA granulométrica do solo. Realizada na Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais, Brasil. Onde af= areia fina; ag= areia grossa; silt= silte; arg= argila. Cos2= peso das variáveis ambientais para explicar a relação delas com os eixos.



Fonte: Martins (2021).

Portanto, os dois geoambientes apresentaram divergência em atributos físicos e químicos. O solo do CRAB apresenta maiores concentrações biodisponíveis, matéria orgânica, areia grossa, silte e argila. Os solos de CRAR apresentam menores concentrações biodisponíveis, maior profundidade e mais areia fina (Figura 1. 9).

A profundidade do solo foi uma variável significativamente relacionada ao ambiente arbustivo (CRAR) (Figura 1. 8), com média de 11,15 cm, enquanto que o ambiente aberto teve média de 3,74 cm (APÊNDICE A – Tabela 6). Com relação à acidez trocável (Al^{3+}), o CRAB possui média e desvio padrão maiores, e assim, mais ácido do que o CRAR, mostrando ser um solo menos fértil apesar da grande disponibilidade de minerais.

Ao adotar o critério de seleção de 0,5, o eixo 1 foi o mais explicativo na CCA (Figura 1.10) (axis 1: 0.221; axis 2: 0.072), onde o que distribuiu e separou melhor os dois geoambientes foi: P, Zn, Fe, K, H+Al, CTC, Cu, silte, argila, areia fina e profundidade do solo. Com isso, a CCA mostrou que as variáveis ambientais P, Zn, Fe, K, H+Al, CTC, Cu, silte e argila estão relacionadas à distribuição e abundância das espécies vegetais (e.g. *Hoplocrypanthus ferrarius*, *Lippia origanoides*) no CRAB. Enquanto que as variáveis ambientais areia fina e profundidade do solo estão relacionadas à distribuição e abundância das espécies vegetais no CRAR (Figura 1. 10). Os eixos 1 e 2 explicaram 22,9% das variações dos dados.

quanto para absorção de nutrientes, resulta em melhor sucesso sobre os filtros abióticos encontrados nos CRs (Faria Jr & Santos, 2006).

Em outros estudos realizados em CRFs, a presença representativa (valor de importância) de gêneros como *Apochloa*, *Evolvulus*, *Periandra*, *Pseudobrickellia* e *Vellozia* revela uma identidade florística para esses ambientes (Quadrilátero Ferrífero: Ataíde, 2010; Pereira, 2010; Pereira, 2016) assim como ocorre em outros biomas (e.g. *Caryocar*, *Kielmeyera*, *Qualea*, *Protium* e *Xylopia* para o Cerrado - Machado *et al.*, 2019; Ferreira *et al.*, 2020).

Considerando que, para CRs brasileiros exista uma estimativa de aproximadamente 1.200 espécies endêmicas (Alves & Kolbek, 2010), este trabalho ressalta sua importância com 3% (36 espécies) desse total. Essa porcentagem em termos de “espécie x área” é bastante significativa, como se a cada duas parcelas (~55,5m²) fosse registrada uma espécie endêmica.

A diversidade α (Índice de Diversidade de Shannon – H') assume que todas as espécies de uma comunidade foram amostradas aleatoriamente. E, para a Fazenda Volta da Tropa, tanto CRAB quanto CRAR mostram valores condizentes ao encontrado em outros trabalhos de fitossociologia de CRs: porção Meridional da Serra da Mantiqueira (Gonçalves, 2019 – H' : 2,15); e porção Meridional da Serra do Espinhaço (Amaral *et al.*, 2015 – H' : 2,18). CRAB foi o menos diverso se comparado ao CRAR, assim como o encontrado em outros CRFs: Quadrilátero Ferrífero (Pereira, 2010 – H'_{aberto} : 1,87/ $H'_{arbustivo}$: 2,60; e Souza *et al.*, 2018 – H'_{aberto} : 2,4/ $H'_{arbustivo}$: 2,7). Esses padrões semelhantes encontrados podem estar relacionados com a forma que os fatores edáficos (e.g. granulometria e nutrientes do solo, profundidade) podem separar cada geoambiente, assim como foi encontrado na Fazenda Volta da Tropa. Em outros estudos a Diversidade alfa para CRs registrada foi maior do que o encontrado neste estudo, como na região do Parque Nacional do Caparaó (Faria & Silva, 2018 – H' : 2,86), do Quadrilátero Ferrífero (Messias *et al.*, 2012 – H' : 2,92) e da Flona de Carajás (Nunes, 2009 – H' : 3,03), sugerindo que outros fatores podem estar moldando suas comunidades, porém estudos mais detalhados nessas regiões seriam necessários.

O Índice de Equabilidade de Pielou (J) assume que, quanto mais próximo de 1,0, mais evidente fica de que todas as espécies da comunidade possuem uma distribuição homogênea, o que ecologicamente seria pouco viável para um ambiente com sistema aberto cujo fluxo de entrada e saída de energia não pode ser exatamente mensurado (Pielou, 1966; Battilani *et al.*, 2005); tendo em vista que existe competição radicular, por recursos e as adaptações evolutivas que formam grados (Pielou, 1966). A equabilidade de CRAB e CRAR, avaliados neste trabalho, apresentaram valores intermediários, isso significa que não há uma homogeneidade na

distribuição das espécies (Secco *et al.*, 2019). A equabilidade do CRAB foi semelhante ao trabalho realizado no Quadrilátero Ferrífero (Messias *et al.*, 2012 – J : 0,58) e em Descoberto-MG (Balestrin, 2018 – J' :0,48), e a equabilidade do CRAR ao encontrado no Quadrilátero Ferrífero (Pereira, 2010 – J' : 0,69) e na porção Meridional da Serra do Espinhaço (Amaral *et al.*, 2015 – J' : 0,69).

A maior riqueza de espécies encontrada em CRAR ocorre pela atuação de alguns fatores, já estudados, como a profundidade do solo. Assim, ambientes arbustivos são favorecidos por se situarem em bolsões de solos mais profundos que permitem maior exploração das raízes e estabelecimento de um maior número de espécies de maior porte (Nunes, 2009; Miotti *et al.*, 2013; Fernandes *et al.*, 2016).

Como esperado, o CRAR possui uma maior cobertura do que o CRAB, pela dominância de espécies fanerófitas, plantas lenhosas caracterizadas por gemas de crescimento acima de 50 cm do solo. Embora os CRs sejam submetidos à ocorrência frequente de fogo natural, há certo controle recente na região amostrada que pode explicar a maior presença de fanerófitas em ambos os geoambientes, se comparada com formas de vida mais adaptadas ao fogo, como as hemicriptófitas (Brito, 2011; Barbosa, 2019).

Outro caso é disponibilidade de nutrientes no solo, baixa nos dois geoambientes, associado a Al^{3+} elevado, potencialmente fitotóxico (Cunha *et al.*, 2015). Neste estudo, ambas fitofisionomias apresentaram valores semelhantes de pH (H_2O ; KCl) e Al^3 . Apesar de ter registrado menor acidez, o teor de alumínio de CRAB apresenta-se maior, porém associado com maiores concentrações de matéria orgânica (MO) no solo. Já o CRAR mostrou-se levemente mais ácido, com menores concentrações de Al^{3+} e MO. Esse cenário coincide com resultados encontrado em regiões de CRF com presença de térmitas, onde a ciclagem de nutrientes nos campos rupestres abertos, proporcionada pela frequente presença de termiteiros nesses ambientes abertos, contribuiu para as altas concentrações de MO, aumento do pH, N, P, Ca e Mg do solo, além da diminuição os teores de Al^{3+} pela geofagia (Sarcinelli *et al.*, 2009). Isso sugere que os solos rasos de CRAB, na Fazenda Volta da Tropa, estiveram/estão sob influência dos térmitas na ciclagem de seus nutrientes (Schaefer *et al.*, 2015), porém estudos específicos envolvendo amostragem e identificação de térmitas seriam necessários na região.

Ainda sobre os atributos do solo, a CCA evidenciou alguns componentes mais relacionados aos ambientes abertos e outros aos ambientes arbustivos. No CRAB, a CTC (capacidade de troca de cátions) acompanhou $H+Al$, e isso é explicado pela MO e maior ciclagem de nutrientes. Estudos sugerem que a CTC é fortemente dependente da MO acumulada

quando relacionada à presença de térmitas, que através de seu hábito detritívoro permitem o desenvolvimento de um solo mais humificado, compensando o ambiente altamente lixiviado e ácido (Schaefer *et al.*, 2008b). Porém, para a Fazenda Volta da Tropa ainda não existem estudos sobre os térmitas, evidenciando assim uma possível lacuna a ser preenchida.

A CCA também ressalta como a textura do solo separa os geoambientes; o CRAB apresenta-se positivamente relacionado à argila e silte, enquanto o CRAR apresenta-se relacionado à areia fina e profundidade do solo. Maiores teores de silte e argila estão relacionados aos maiores teores de MO, e ajudam a estabilizar os compostos orgânicos nos solos. Isso evidencia que os atributos físicos são determinantes no estabelecimento da vegetação ocorrente nos CRs.

6. CONCLUSÃO

1. Os dois principais geoambientes do Complexo Rupestre Ferruginoso em Morro do Pilar (Espinhaço Leste) possuem diferenças físicas e químicas associadas às variações florísticas e fitofisionômicas. Apesar da proximidade relativa entre as áreas estudadas, este estudo – inédito para região – comprova a existência de um mosaico heterogêneo, em escala espacial pequena, no Complexo Rupestre Ferruginoso. O nMDS, baseado na abundância e riqueza da vegetação, confirmou a diferença florística entre os geoambientes
2. O CRF deste estudo revelou uma lista com 36 espécies endêmicas, o que reforça a necessidade de estudos para o conhecimento e a preservação dos CRFs isolados, fragilizados por ameaças antrópicas. A curva de rarefação mostrou que a coleta dos dados foi suficiente em número de indivíduos e unidades amostrais. A riqueza apresentou diferenças significativas entre os dois geoambientes, onde CRAR obteve um maior registro, assim como encontrado em outras regiões de CRFs. A abundância não apresentou diferenças significativas entre os dois geoambientes.
3. CRAB apresentou mais indivíduos e maior variação na abundância e riqueza. Além disso, na PCA mostrou-se mais relacionado com concentrações biodisponíveis, MO, areia grossa, argila e silte; CRAR apresentou mais espécies, maior cobertura, maior diversidade α , e maior acidez do solo. Além disso, na PCA mostrou maiores relações com profundidade e areia fina;

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. F.; PINTO, J. R. R.; MARACAHIPES, L.; GOMES, L.; OLIVEIRA, E. A. D.; MARIMON, B. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; FARIA, J.; LENZA, E. 2012. **Influence of edaphic variables on the floristic composition and structure of the tree-shrub vegetation in typical and rocky outcrop cerrado areas in Serra Negra, Goiás State, Brazil.** *Brazilian Journal of Botany*, 35(3): 259-272.
- ALVES, E. A. 2005. **Análise da variabilidade espacial da qualidade do café cereja produzido em região de montanha.** Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa,.
- ALVES, R. J. & KOLBEK, J. 2010. **Can campo rupestre vegetation be floristically delimited based on vascular plant genera?** *Plant ecology*, 207(1): 67-79.
- AMARAL, C. S.; AMARAL, W. G.; PEREIRA, I. M.; OLIVEIRA, P. A.; MACHADO, V. D. M. 2015. **Comparação florístico-estrutural dos estratos adultos e regenerantes em área minerada de campo rupestre, Diamantina, MG.** *Cerne*, 21: 183-190.
- APG IV. 2016. **An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV.** *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181: 1-20.
- ATAÍDE, E. S. 2010. **Zoneamento florístico em campo ferruginoso em uma área do sul-sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG.** Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado.
- BALESTRIN, D. 2018. **Fitossociologia e dinâmica do solo e da paisagem em áreas sob influência da mineração de bauxita em Minas Gerais-Brasil.** Departamento de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa.
- BATTILANI, J. L., E. SCREMIN-DIAS E A. L. T. SOUZA. 2005. **Fitossociologia de um trecho da mata ciliar do rio da Prata, Jardim, MS, Brasil.** *Acta Botânica Brasílica* 19(3): 597-608.
- BARBOSA, L. C. 2019. **Efeito do fogo na ecologia funcional e filogenética em uma vegetação de canga na Serra dos Carajás.** Dissertação apresentada para o título de mestre em Ciências Biológicas, na Universidade Federal Rural da Amazônia e Museu Paraense Emílio Goeldi.

BERNARDES, T.; Moreira, M.A.; Adami, M.; Rudorff, B.F.T. 2012. **Diagnóstico físico-ambiental da cafeicultura no estado de Minas Gerais: Brasil**. Coffee Science, Lavras, 7(2): 139-151.

BRASIL. **Código de Mineração, LEI Nº 13.575**. 2017. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/Lei/L13575.htm.

BRAUN-BLANQUET, J. 1979. **Fitosociologia: bases para el estudio de las comunidades vegetales**. Madrid, Blume. 820.

BRIDSON, D. & FORMAN, L. 1998. **The Herbarium Handbook**. Richmond: royal botanical garden, lubrecht & cramer ltd., 348.

BRITO, J. C. 2011. **Efeitos do fogo sobre a vegetação em duas áreas de campo rupestre na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil**. Dissertação apresentada para o título de mestre em botânica, na Universidade Estadual de Feira de Santana.

CARMO, F. F. D. & JACOBI, C. M. 2013. **A vegetação de canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: caracterização e contexto fitogeográfico**. Rodriguésia, 64: 527-541.

CHAO, A., GOTELLI, N. J., HSIEH, T. C., SANDER, E. L., MA, K. H., COLWELL, R. K., & ELLISON, A. M. 2014. **Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies**. Ecological monographs, 84(1): 45-67.

COLETTA, L. D. 2010. **Estudo da fixação biológica do nitrogênio em leguminosas (família Fabaceae) arbóreas tropicais através do enriquecimento isotópico do ¹⁵N**. Departamento do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

CUNHA, G. O. D. M.; ALMEIDA, J. A. D.; TESTONI, S. A.; BARBOZA, B. B. 2015. **Formas de Alumínio em Solos Ácidos Brasileiros com Teores Excepcionalmente Altos de Al³⁺ Extraível com KCl**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 39: 1362-1377.

DO CARMO, E. D.; DE CASTRO, E. R.; DOS SANTOS, P. J. C. 2015. **Mineração, neo-extrativismo e conflitos em Barcarena**. NÚCLEO DE ALTOS ESTUDOS AMAZÔNICOS, 18(3): 51-71.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2017. **Manual de métodos de análises de solo**. 3ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa. 573.

FARIA, J. A. N., & SILVA, A. P. 2018. **Diversidade e Análise Estrutural da Vegetação no Pico Cruz do Negro, Parque Nacional Do Caparaó**. Brazilian Journal Of Ecology Revista Brasileira De Ecologia, 1516: 82.

FARIA-JUNIOR, J.E.Q. & SANTOS, M. L. 2006. **Recursos Florais e Síndromes de Polinização e Dispersão de Espécies de Campo Rupestre no Parque Estadual da Serra dos Pireneus, Goiás**. Relatório final – PIBIC. Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas.

FELFILI, J.M. & SILVA JÚNIOR, M.C. (orgs.). 2001. **Biogeografia do bioma Cerrado: estudo fitofisionômico na Chapada do Espigão Mestre do São Francisco**. Brasília, Universidade de Brasília.

FELFILI, J.M.; FILGUEIRAS, T.; HARIDASAN, M.; SILVA JÚNIOR, M.C.; MENDONÇA, R.C.; REZENDE, A.V. 1994. **Projeto Biogeografia do Bioma Cerrado: vegetação e solos**. Cadernos de Geociências, 12: 75-166.

FELFILI, J.M.; SILVA JÚNIOR, M.C.; REZENDE, A.V.; HARIDASAN, M.; FILGUEIRAS, T.S.; MENDONÇA, R.C.; WALTER, B.M.T. & NOGUEIRA, P.E. 2001. **O projeto Biogeografia do Bioma Cerrado: hipóteses e padronização da metodologia**. Pp. 157-173. In: I. Garay & B. Dias. **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais: avanços conceituais e revisão de metodologias de avaliação e monitoramento**. Petrópolis, Editora Vozes.

FELFILI, J.M.; SILVA JÚNIOR, M.C.; SEVILHA, A.C.; FAGG, C.W.; WALTER, B.M.T.; NOGUEIRA, P.E. & REZENDE, A.V. 2004. **Diversity, floristic and structural patterns of cerrado vegetation in central Brazil**. Plant Ecology, 175: 37-46.

FERNANDES, G. W. 2016. **Ecology and conservation of mountaintop grasslands in Brazil**. Switzerland: Springer International Publishing, 449-474.

FERREIRA, R. Q. S.; SANTOS, L. A. C.; TEXEIRA, P. R.; BORGES, L.; DE SOUZA, P. B. 2020. **Estrutura Fitossociológica de um Cerrado Sensu Stricto, em Gurupi, Tocantins**. Journal of Social, Technological and Environmental Science, 9(1): 316-329.

FERREIRA, W.; RIBEIRO, M. D. F.; FERNANDES FILHO, E. I.; SOUZA, C. D. F.; CASTRO, C. C. R. 2012. **As características térmicas das faces noruega e soalheira como fatores determinantes do clima para a cafeicultura de montanha**. Embrapa Café, Brasília – DF.

FONSECA FILHO, R. E.; VARAJÃO, A. F. D. C.; CASTRO, P. D. T. A. 2019. **Compactação e Erosão de Trilhas Geoturísticas de Parques do Quadrilátero Ferrífero e Serra do Espinhaço Meridional**. Revista Brasileira de Geomorfologia, 20(4): 825-839.

GONÇALVES, L. N. 2019. **Campos de Altitude do Maciço Marins-Itaguaré, Serra da Mantiqueira SP/MG: Composição Florística, Fitogeografia e Estrutura da Vegetação**.

Programa de pós graduação em ecologia aplicada ao manejo e conservação de recursos naturais. Universidade Federal de Juiz de Fora.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/morro-do-pilar/panorama>. Acesso em: 10 abr. 2020.

IGEL, D; GAZZINELLI, G; CARVALHO, J; ROCHA, M; BAPTISTA, P; RODRIGUEZ, P. 2012. Parque Nacional da Serra do Gandarela. **Oportunidade de riqueza limpa e para toda a vida**. Belo Horizonte: 217.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. 2019. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>. Acesso em: 9 abr. 2020.

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**. Rev. Árvore, 32(2): 345-353.

KENT, M. & COKER, P. 2012. **Vegetation description and data analysis: a practical**. Approach Wiley-Black Well.

LEMES, F. 2009. **Relações florísticas, fitossociológicas e aspectos edáficos de comunidades de campos rupestres da Serra de Ouro Branco e Serra do Itacolomi, Minas Gerais**. Dissertação, mestre em ecologia. Universidade Federal de Ouro Preto.

LIMA, H. M. D.; FLORES, J. C. D. C.; COSTA, F. L. 2006. **Plano de recuperação de áreas degradadas versus plano de fechamento de mina: um estudo comparativo**. Revista Escola de Minas, 59: 397-402.

LUZ, M. D. 2005. **Estrutura do componente arbóreo de floresta estacional em encosta norte, Viamão, sul do Brasil**. Departamento de Ciências Biológicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MACHADO, I. E. S.; TAVARES, M. E. F.; DE OLIVEIRA MEDEIROS, P. C. A.; GIONGO, M.; DE SOUZA, P. B.; BATISTA, A. C. 2019. **Florística e fitossociologia de um fragmento de Cerrado lato sensu, Gurupi, TO**. Pesquisa Florestal Brasileira, 39.

MAGURRAN, A.E. 1988. **Ecological diversity and its measurement**. New Jersey: Princeton University Press, 179.

MAGURRAN, A.E. 2004. **Measuring biological diversity**. Oxford: Blackwell Science, 256.

MARTÍNEZ, P. A. H. 2017. **Qualidade fisiológica e sensorial de sementes de café (*Coffea arabica* L.) produzidas em diferentes altitudes e faces de exposição da montanha.** Departamento de Fitotecnia. Universidade Federal de Viçosa.

MESSIAS, M. C. T. B.; LEITE, M. G. P.; MEIRA-NETO, J. A. A.; KOZOVITS, A. R. 2012. **Fitossociologia de campos rupestres quartzíticos e ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.** Acta Botanica Brasilica, 26(1): 230-242.

MILANEZ, B. 2017. **Mineração, ambiente e sociedade: impactos complexos e simplificação da legislação.** Ipea, Boletim regional, urbano e ambiental, 93-101.

MIOTTI, A. A.; COSTA, M. C. G.; FERREIRA, T. O.; ROMERO, R. E. 2013. **Profundidade e atributos físicos do solo e seus impactos nas raízes de bananeiras.** Revista Brasileira de Fruticultura, 35: 536-545.

MIRANDA, C.; Batista, A. B.; Faria Júnior, J. E. Q.; Carvalho, P. S.; Santos, M. L. 2005. **Tipologia de frutos e síndromes de dispersão de uma comunidade de campo rupestre no Parque Estadual da Serra dos Pirineus, Goiás.** Goiânia: UEG. Curso de Ciências Biológicas, Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Goiás.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2017. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/biomas.html>. Acesso: 30 jun 20.

NUNES, J. A. 2009. **Florística, estrutura e relações solo-vegetação em gradiente fitofisionômico sobre canga, na serra Sul, Flona de Carajás-Pará.** Departamento de Botânica, Universidade Federal de Viçosa.

NUNES, J. A.; SCHAEFER, C. E.; FERREIRA, W. G.; NERI, A. V.; CORREA, G. R.; ENRIGHT, N. J. 2015. **Soil-vegetation relationships on a banded ironstone 'island', Carajás Plateau, Brazilian Eastern Amazonia.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, 87: 2097-2110.

PEREIRA, A. F. S. 2010. **Florística, fitossociologia e relação solo-vegetação em campo rupestre ferruginoso do Quadrilátero Ferrífero, MG.** Departamento de Botânica, Universidade Federal de Viçosa.

PEREIRA, A. F. S. 2016. **Florística, fitossociologia e relação solo-vegetação Complexo Rupestre do Quadrilátero Ferrífero, MG.** Departamento de Botânica, Universidade Federal de Viçosa.

PIELOU, E. C. 1966. **The measurement of diversity in different types of biological collections.** Journal of theoretical biology, 13: 131-144.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2019. **R: a language and environment for statistical computing**, Version 3.6.3. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <http://www.Rproject.org/>.

RIOS, F.J. & ABREU, R. 2014. **Morro do Pilar: na fronteira leste do Espinhaço Meridional**. In: OLIVEIRA, L.C.F. 2014. **História Viva – Morro do Pilar – Cultura, Memória, Sustentabilidade e a Antecipação do Futuro**. Morro do Pilar: Instituto Espinhaço, 432.

RODRIGUES W.A. & PIRES, J.M. 1988. **Inventário fitossociológico**. In: Anais do Encontro sobre Inventários Florísticos na Amazônia, Manaus.

SALOMÃO, G. N.; FIGUEIREDO, M. A.; DALL'AGNOL, R.; SAHOO, P. K.; DE MEDEIROS FILHO, C. A.; DA COSTA, M. F.; ANGÉLICA, R. S. 2019. **Geochemical mapping and background concentrations of iron and potentially toxic elements in active stream sediments from Carajás, Brazil—implication for risk assessment**. Journal of South American Earth Sciences, 92: 151-166.

SANTOS, M. F.; SERAFIM, H.; SANO, P. T. 2011. **Fisionomia e composição da vegetação florestal na Serra do Cipó, MG, Brasil**. Acta Botanica Brasilica, 25: 793-814.

SCHAEFER, C. E. G. R.; CÂNDIDO, H. G.; CORRÊA, G. R.; PEREIRA, A.; NUNES, J. A.; SOUZA, O. F.; KER, J. C. 2015. **Solos desenvolvidos sobre canga ferruginosa no Brasil: uma revisão crítica e papel ecológico de termiteiros**. Geossistemas Ferruginosos do Brasil. (Eds FF do Carmo and LHY Kamino) 77-102.

SCHAEFER, C.E.G.R.; FEITAL, D. G.; SILVA, T.M.; SILVA, W.; ANDRADE, P. 2019. **Geossistemas do Complexo Rupestre da Borda Leste do Espinhaço: Caracterização, Valoração para Compensação Ambiental, Modelagem e Restauração Ecológica: Dimensões Solo-Vegetação-Paisagem**. Relatório parcial das atividades. Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa.

SCHAEFER, C.E.G.R.; MENDONÇA, B.A.F & RIBEIRO, A.S. 2008b. **Solos desenvolvidos sobre canga ferruginosa no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. In: Jacobi, C.M. **Simpósio Afloramentos Ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero: Biodiversidade, Conservação e Perspectivas de Sustentabilidade**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Biológicas.

SECCO, R. T.; ACRA, L. A.; CORAIOLA, M. 2019. **Regeneração natural em área de corte raso de *Pinus taeda* L.** Ciência Florestal, 29: 208-220.

SILVA, L. F.; DE MELO JÚNIOR, A. F.; DE OLIVEIRA, D. A.; DE MENEZES, E. V.; ROYO, V. A.; BRANDÃO, M. M. 2020. **Cerrado rupestre do Espinhaço: diversidade genética de espécie endêmica**. *Cerrados*, 18(1): 300-330.

SILVA, M. F. 1992. **Distribuição de metais pesados na vegetação metalófica de Carajás**. *Acta Botanica Brasilica*, 6: 107-122.

SILVEIRA, F.A.O.; NEGREIROS, D.; BARBOSA, N.P.U.; BUISSON, E.; CARMO, F.F.; CARSTENSEN, D.W.; CONCEIÇÃO, A.A.; CORNELISSEN, T.G.; ECHTERNACHT, L.; FERNANDES, G.W.; GARCIA, Q.S.; GUERRA, T.J.; JACOBI, C.M.; LEMOS-FILHO, J.P.; LE STRADIC, S.; MORELLATO, L.P.C.; NEVES, F.S.; OLIVEIRA, R.S.; SCHAEFER, C.E.; VIANA, P.L.; LAMBERS, H. 2015. **Ecology and evolution of plant diversity in the endangered campo rupestre: a neglected conservation priority**. *Plant Soil* 28: 134-123.

SIMÕES, P. L.; VALADÃO, R. C.; OLIVEIRA, C. V.; OLIVEIRA, F. S. 2020. **Uso de atributos pedológicos na compreensão da gênese de superfícies geomorfológicas escalonadas da borda oeste do Planalto do Espinhaço Meridional/Minas Gerais–Brasil**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 21(2): 381-398.

SOUZA, C. R.; COELHO, P. A.; DE OLIVEIRA, H. F.; MOREL, J. D.; DE CARVALHO ARAÚJO, F.; COSTA, M. T. R.; DOS SANTOS, R. M. 2018. **Floristic-structural relationships between Canga ferruginous tree communities and adjacent vegetation types**. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 40: 39466.

TER BRAAK, C. J. 1987. **The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis**. *Vegetatio*, 69(1-3): 69-77.

VARAJÃO, C. A. C.; VARAJÃO, A. F. D. C.; DE OLIVEIRA, F. S.; BARRETO, H. N.; SALGADO, A. A. R. 2020. **Solos e superfícies de erosão: uma contextualização da evolução da paisagem na Serra do Espinhaço Meridional (SdEM), Minas Gerais**. *Revista Espinhaço, UFVJM*, 17-42.

VASCONCELLOS, A.; BANDEIRA, A. G.; ALMEIDA, W. O.; MOURA, F. 2008. **Térmitas construtores de ninhos conspícuos em duas áreas de Mata Atlântica com diferentes níveis de perturbação antrópica**. *Neotropical Entomology*, 37: 15-19.

ZAR, J. H. 1996. **Biostatistical analysis–Prentice–Hall International. Inc.**, London.

CAPÍTULO II

DIVERSIDADE E ESTRUTURA FILOGENÉTICA DE COMUNIDADES VEGETAIS EM COMPLEXO FERRUGINOSO ISOLADO EM MORRO DO PILAR, ESPINHAÇO MERIDIONAL, MINAS GERAIS, BRASIL

RESUMO

MARTINS, Samara Azevedo de Jesus, M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2021. **Diversidade e Estrutura Filogenética de Comunidades Vegetais em Complexo Ferruginoso isolado em Morro do Pilar, Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brasil.** Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Coorientador: Hugo Galvão Candido.

Os Complexos Rupestres Ferruginosos (CRFs) são classificados como OCBILs (paisagens antigas, climaticamente tamponadas e inférteis). Apresentam geralmente solos oligotróficos, ácidos e extremamente lixiviados, cenários estes que contrastam com suas exuberantes paisagens, compostas de mosaicos vegetacionais com alto endemismo. Estudos que compreendam as relações ambientais com enfoque na diversidade filogenética atrelada às características edáficas que moldam os geoambientes desses CRFs são extremamente importantes e escassos até o momento. Sendo assim, este trabalho buscou avaliar a diversidade e estrutura filogenética de comunidades de plantas ao longo de um gradiente geoambiental, bem como avaliar a resposta da diversidade e estrutura filogenética de comunidades de planta às variações de propriedades físicas e químicas do solo em dois geoambientes (CRAB – Campo Rupestre Aberto; CRAR – Campo Rupestre Arbustivo) em um CRF isolado na Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais, Brasil – Espinhaço Meridional Leste. Foram alocadas 40 parcelas (5 x 5 m) em cada geoambiente totalizando 80 parcelas, onde foram realizadas as amostragens fitossociológicas, coletas superficiais do solo e medição das profundidades do solo até o contato lítico. Para a análise de Diversidade Filogenética, um dendrograma foi gerado, posteriormente foram aplicadas as métricas PD, MPD e MNTD, juntamente com suas padronizações (ses.), para calcular a diversidade de linhagens e verificar a estrutura filogenética em cada geoambiente. Para cada métrica foi testada a normalidade e distribuição dos dados, e para comparar as métricas entre CRAB e CRAR foi realizada a análise de teste t. Após, análises dos componentes principais (PCA) foram realizadas utilizando as variáveis relacionadas com fertilidade, textura e acidez do solo sobre a riqueza de espécies e diversidade filogenética. A seleção dos preditores foi feita através da análise de correlação de Pearson. Registrou-se 28 famílias, 54 gêneros, 59 espécies, das quais 36 são endêmicas do Brasil, e oito endêmicas de Minas Gerais. Dentre as espécies coletadas, *Vellozia* sp. provavelmente é uma nova espécie. Nas análises de Diversidade Filogenética houveram diferenças significativas (entre CRAB e CRAR) apenas nas métricas PD, MPD e ses.MPD. Os dois geoambientes apresentaram estrutura filogenética diferente (CRAB: agrupamento filogenético; CRAR: estrutura aleatória). As variáveis selecionadas do solo sobre a estrutura filogenética não apresentaram efeitos

principais sobre a riqueza e diversidade, porém dois modelos se destacam como importantes preditores para explicar o efeito de ses.MPD: AI e PC1t. A textura do solo foi determinante para explicar as diferenças na diversidade filogenética e estruturação dos geoambientes. Este trabalho corrobora com postulações da recente Teoria OCBIL, cujas hipóteses de oscilações climáticas do Quaternário, do *'Ultimate Self'* e da Herança Gondwana se destacaram para este trabalho. Diante disso, ressalta-se a importância de trabalhos sobre Diversidade Filogenética que envolvam dados de vegetação e solo para compreender os processos ecológicos que ocorrem nos CRFs, tendo em vista que são altamente endêmicos e susceptíveis às ações antrópicas.

Palavras-chave: Canga. Campo Rupestre. Campo Aberto. Campo Arbustivo. Filogenia. OCBIL.

ABSTRACT

MARTINS, Samara Azevedo de Jesus, M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, August, 2021. **Phylogenetic' Diversity and Structure of Plant Communities in Ferruginous Complex isolated in Morro do Pilar, Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brazil.** Adviser: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Co-adviser: Hugo Galvão Candido.

Ferruginous Rupestrian Grassland Complex (FRGC) are classified as OCBILs (Old Climatically-Buffered Infertile Landscapes). They generally present oligotrophic, acidic and extremely leached soils, scenarios that contrast with their exuberant landscapes, composed of highly endemic vegetation mosaics. Studies that understand the environmental relationships with a focus on phylogenetic diversity linked to the edaphic characteristics that shape the geoenvironments of these FRGCs are extremely important and scarce until this moment. Therefore, this work aimed to evaluate the phylogenetic's diversity and structure of plant communities along a geoenvironmental gradient, as well as to evaluate the response of the phylogenetic's diversity and structure of plant communities to variations in physical and chemical soil properties in two geoenvironments (CRAB – open rupestrian field; CRAR – shrubby rupestrian field) in an isolated CRF at Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais, Brazil – Espinhaço's southeast region. Were allocate 40 plots (5 x 5 m) in each geoenvironment, totaling 80 plots, where phytosociological sampling, superficial soil collection and measurement of soil depths until the lithic contact were carried out. For the Phylogenetic Diversity analysis, a dendrogram was generated, then the PD, MPD and MNTD metrics were applied, along with their standardizations (ses.), to calculate the diversity of lineages and verify the phylogenetic structure in each geoenvironment. For each metric, the normality and distribution of data was tested, and to compare the metrics between CRAB and CRAR, the t-test analysis was performed. Afterwards, principal component analyzes (PCA) were performed using variables related to soil fertility, texture and acidity on species richness and phylogenetic diversity. The selection of predictors was performed using Pearson's correlation analysis. Twenty-eight families, 54 genera, 59 species were recorded, 36 of which are endemic to Brazil, and eight endemic to Minas Gerais. Among the species collected, *Vellozia* sp. it's probably a new species. In the Phylogenetic Diversity analyzes there were significant differences (between CRAB and CRAR) only in the PD, MPD and ses.MPD metrics. The two geoenvironments presented different phylogenetic structure (CRAB: phylogenetic grouping; CRAR: random structure). Selected soil variables on phylogenetic structure did not show main effects on richness and diversity, but two models stand out as important predictors to explain the effect of

ses.MPD: AI and PC1t. The soil texture was crucial to explain the differences in phylogenetic diversity and structuring of geoenvironments. This work corroborates with postulations of the recent OCBIL Theory, whose hypotheses of climatic oscillations of the Quaternary, of the 'Ultimate Self' and of the Gondwana Heritage stood out for this work. Therefore, it emphasizes the importance of works on Phylogenetic Diversity that involve vegetation and soil data to understand the ecological processes that occur in FRGCs, considering that they are highly endemic and susceptible to anthropic actions. This work corroborates with postulations of the recent OCBIL Theory, whose hypotheses of climatic oscillations of the Quaternary, of the 'Ultimate Self' and of the Gondwana Heritage stood out for this work. Therefore, it emphasizes the importance of works on Phylogenetic Diversity that involve vegetation and soil data to understand the ecological processes that occur in FRGCs, considering that they are highly endemic and susceptible to anthropic actions.

Keywords: Canga. Rupestre Field. Open Field. Shrub Field. Phylogeny. OCBIL.

1. INTRODUÇÃO

No Neotrópico os OCBILs (Old Climatically-Buffered Infertile Landscapes) representam importante centro de biodiversidade e endemismo de espécies vegetais (Carnaval, 2020; Matsumura-Tundisi, 2008; Radice & Scalvenzi, 2020). Os OCBILs são descritos por Hopper (2009) como paisagens antigas, climaticamente tamponadas e inférteis (e.g. Complexos Rupestres) e que, devido à alta diversidade genética das comunidades vegetais (Zappi *et al.*, 2019; Campos *et al.*, 2021), são necessários modelos teóricos que expliquem os singulares mecanismos ecológicos e evolutivos da região (Silveira *et al.*, 2016). Dentre os OCBILs, os Complexos Rupestres Ferruginosos (CRFs) se destacam por seus solos geralmente oligotróficos e extremamente lixiviados, contrastando com seus exuberantes mosaicos vegetacionais e alto endemismo (Benites *et al.*, 2003; Schaefer *et al.*, 2016). Entre tanto, para esses ambientes, as relações ambientais permanecem ainda mal compreendidas, como, por exemplo, a relação de filtros ambientais sobre a diversidade de plantas. Para isso, abordagens filogenéticas têm sido utilizadas para explicar como se estruturam comunidades vegetais locais, explicitando os papéis ecológicos e evolutivos dentro do geoambiente (Zappi *et al.*, 2019), que são determinados por fatores ambientais, condições geológico-geomorfológicas, atributos do relevo, condições climáticas, solo, vegetação relativamente homogêneos (Dias, 2000).

Dentre os processos que podem moldar as comunidades vegetais dentro dos geoambientes, destacam-se os processos neutros e os processos determinísticos, que são definidos, respectivamente, por eventos estocásticos (e.g. limitação por dispersão) e por modelos de nicho (e.g. filtros ambientais), os quais também podem atuar simultaneamente (Pavoine & Bonsall, 2011; Mouquet *et al.*, 2012). Os filtros ambientais atuam na seleção de espécies (de um pool geral) através de restrições ambientais, podendo reproduzir assim comunidades filogeneticamente agrupadas (Weiher & Keddy, 1995; Mouquet *et al.*, 2012; Gastauer & Meira-Neto, 2014). Por exemplo, as propriedades pedoedáficas, tais como textura, fertilidade e acidez do solo são consideradas filtros ambientais fundamentais na seleção de espécies (Mackenzie & Guldmond, 1994; Pontara *et al.*, 2018; Campos *et al.*, 2021). Solos argilosos tendem a dificultar o enraizamento das plantas, selecionando aquelas adaptadas ao engrossamento da raiz principal e/ou concentração radicular nas camadas superficiais (Reinert *et al.*, 2008; Sousa *et al.*, 2017). Plantas desenvolvidas sobre solos oligotróficos e ácidos tendem a apresentar escleromorfismo, características xeromórficas (como redução foliar), nódulos radiculares e sistema radicular pouco desenvolvido (Fonseca *et al.*, 2009; Souza 2014; Melo-Júnior *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2020). Outro estudo, ainda, relata que ambientes com altas

concentrações de ferro tenderiam a selecionar espécies de plantas com características adaptativas (concentração de metais no tecido foliar) para sobreviver e se reproduzirem nessa condição (Porto & Silva, 1989).

Em casos onde os filtros ambientais correspondam a eventos ecológicos importantes, algumas características ancestrais podem ser mantidas ou não pela linhagem descendente (Wiens & Graham, 2005; Wiens *et al.*, 2010). Caso seja mantida, a probabilidade de haver um agrupamento filogenético nas comunidades de plantas é grande (Cianciaruso *et al.*, 2009; Sobral & Cianciaruso, 2012). Pelo contrário, quando há limitação na similaridade, as comunidades de plantas apresentam superdispersão filogenética (Webb *et al.*, 2002; Cavender - Bares *et al.*, 2004). E no caso de outros fatores (e.g. processos neutros) estejam atuando sobre a comunidade, ela tende a apresentar estrutura filogenética aleatória (Webb *et al.*, 2002; Sobral & Cianciaruso, 2012).

Com isso, a estrutura filogenética das comunidades pode estar intrinsecamente associada à idade do habitat (Lososova *et al.*, 2015), podendo ainda refletir em uma estrutura filogenética com pools de linhagens que seriam característicos desse hábitat (Gerhold *et al.*, 2015). Assim, devido às peculiaridades ambientais encontradas nos Complexos Rupestres (CRs), esses ambientes são considerados promissores para pesquisas evolutivas e ecológicas, bem como prioridades para conservação (Silveira *et al.*, 2020). Algumas hipóteses recentes têm explorado explicações para padrões evolutivos, de diversificação e dispersão filogenéticas encontrados nos CRs, como é o caso da hipótese das oscilações climáticas do Quaternário; presente na Teoria OCBIL (Silveira *et al.*, 2020). Os estudos que levaram à essa hipótese utilizaram linhagens endêmicas (e.g. Asteraceae: *Richterago discoidea*; Cactaceae: *Pilosocereus aurisetus*) de alguns CRs, e concluíram que eram linhagens antigas com diversificação e distribuição recentes, explicadas ao fim, por essas oscilações climáticas (Bonatelli *et al.*, 2014; Barres *et al.*, 2019). Porém, ainda existem poucos trabalhos nos Complexos Rupestres brasileiros – sobretudo na porção Meridional do Espinhaço Leste – voltados à filogenia, como por exemplo estudos que utilizam medidas de Diversidade Filogenética para inferir processos ecológicos da vegetação, evidenciando, assim, uma lacuna de conhecimento (Cianciaruso *et al.*, 2009).

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a diversidade e estrutura filogenética de comunidades de plantas ao longo de um gradiente geoambiental em Complexo Rupestre no município Morro do Pilar, Minas Gerais, Brasil. Especificamente, espera-se comparar padrões de diversidade e estrutura filogenética entre dois geoambientes; um com

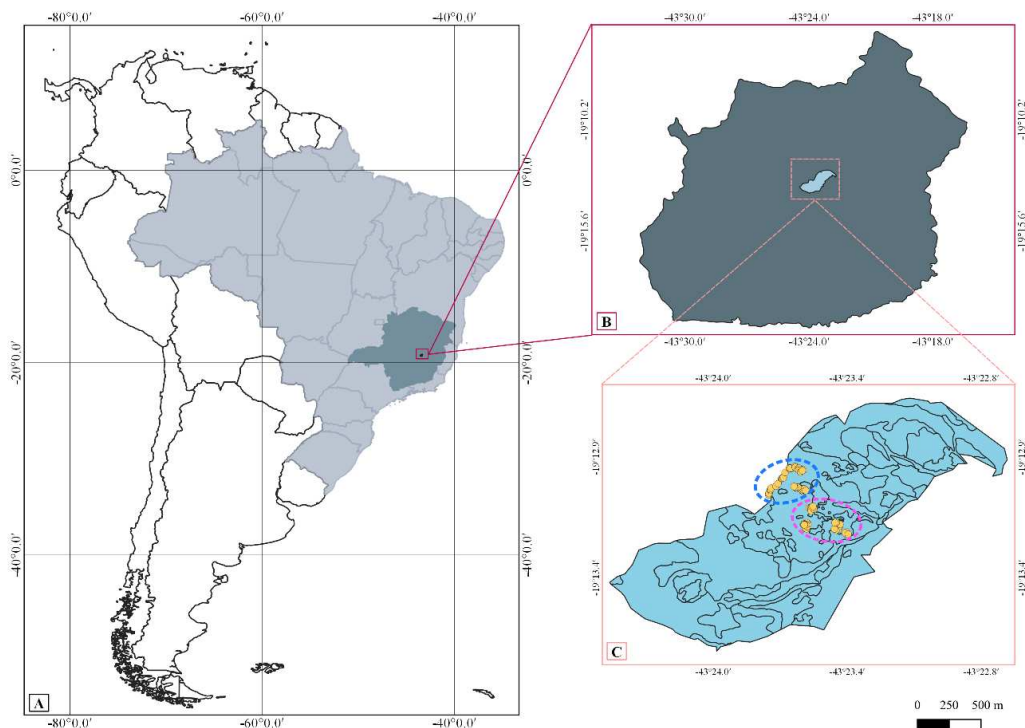
vegetação predominantemente herbácea (CRAB – Campo Rupestre Aberto) e o outro com vegetação predominantemente arbustiva (CRAR – Campo Rupestre Arbustivo). Além disso, avaliar a resposta da diversidade e estrutura filogenética de comunidades de planta às variações de propriedades físicas e químicas do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado no Complexo Rupestre Ferruginoso da Fazenda Volta da Tropa, situado no município Morro do Pilar, Minas Gerais (Figura 2.1). O município está inserido na porção leste da Serra do Espinhaço, região central de Minas Gerais, abrangendo cerca de 477,548 km² (IBGE, 2019). A Fazenda Volta da tropa, adquirida pela Anglo American para realização de estudos a fins de compensação, está inserida nas coordenadas 19°13'15" S e 43°23'30" W, no Bioma Mata Atlântica. O clima, segundo a classificação Köppen-Geiger, é Cwb (mesotérmico úmido), com verões brandos e invernos secos. A temperatura média é de 20°C e a precipitação total anual é de 1.400 mm (INMET, 2019), e a vegetação original da região é Floresta Estacional Semidecidual.

Figura 2. 1. Mapa geográfico da área de estudo (A), município de Morro do Pilar (B), área de estudo – Fazenda Volta da Tropa (C). As elipses tracejadas, indicadas em C, representam o Campo Rupestre Arbustivo (CRAR; Azul) e Campo Rupestre Aberto (CRAB; rosa).



Fonte: Martins (2021).

A área selecionada na Fazenda Volta da Tropa para a realização do estudo foi pré-definida através do reconhecimento prévio em expedições para classificação dos perfis de solo da região (Schaefer *et al.*, 2020). Em campo, os geoambientes foram identificados com base em aspectos geomorfológicos, pedológicos e vegetacionais de acordo com Tricart and Kiewietdejonge (1992), Dias (2000) e Schaefer *et al.* (2020).

Os dois geoambientes selecionados foram: CRAB – campo rupestre aberto (predominância da vegetação herbácea; vegetação arbustiva esparsa com pouca cobertura foliar); e CRAR – campo rupestre arbustivo (predominância da vegetação arbustiva com maior cobertura foliar; vegetação herbácea esparsa). Eles estão localizados na área cuja litologia e formação geológica pertencente ao Grupo Serra da Serpentina, e solo foi classificado como Plintossolo Pétrico Litoplântico típico, com itabirito como material de origem (Schaefer *et al.*, 2020).

2.2. Amostragem de vegetação

Foram alocadas 40 parcelas (5 x 5 m) em cada geoambiente, totalizando 80 parcelas (Figura 2.1C), sempre que possível, a amostragem foi realizada em porções homogêneas do geoambiente, seguindo transecto de direção noroeste, equidistantes em, no mínimo, 5 m.

Em cada parcela, os indivíduos foram contabilizados e a estrutura da comunidade vegetal foi determinada seguindo o proposto por Braun-Blanquet (1979). As espécies, quando possível, foram identificadas por especialista em campo conforme o sistema de classificação APG IV (APG IV, 2016). Os espécimes férteis foram fotografados, coletados e depositados no Herbário VIC - Universidade Federal de Viçosa (UFV).

2.3. Amostragem e análises de propriedades do solo

Foram coletadas amostras simples de solos superficiais no centro de cada parcela, com profundidade de 0 a 20 cm. As propriedades físico-químicas do solo foram enviadas para análise de rotina no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, de acordo com os protocolos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2017). Sendo avaliados: os níveis de acidez ativa (pH); teores de P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu; acidez trocável (Al) e potencial (Al+H); soma de bases (SB) e saturação por bases (V); capacidade de troca catiônica a pH 7 – CTC - (T) e efetiva (t); saturação por alumínio (m); e teores de matéria orgânica (MO) e fósforo remanescente (P-rem). Finalmente, a profundidade do solo, até o

contato lítico, foi determinada através de um vergalhão e depois medida com régua graduada no centro de cada parcela.

2.4. Análises de dados

2.4.1. Métricas de Diversidade Filogenética

Foi gerada uma árvore filogenética incluindo o agrupamento de todas as espécies de acordo com a megárvore atualizada através do pacote 'V.PhyloMaker' (Jin e Qian, 2019). Esta megárvore contém 74.533 espécies de plantas vasculares com base no sistema filogenético APG IV (2016) de classificação de angiospermas e inclui todas as famílias de plantas do mundo (Jin & Qian, 2019). Usamos a função `phylo.maker`, com hipóteses filogenéticas no cenário 3, cuja abordagem se baseia na ligação das pontas dos ramos do cladograma, de um novo gênero ou espécie não incluída na megárvore, as quais são ligadas à metade do ramo da família ou gênero, representando assim o ramo entre o nó raiz da família e do gênero e o nó basal (Jin & Qian, 2019). Assim, calculamos a diversidade de linhagens com o comprimento total do ramo filogenético (distância filogenética; PD) para cada geoambiente (Faith, 1992). Nós padronizamos PD para riqueza em nível de gênero (ou seja, tamanho de efeito padronizado de PD; $ses.PD$). O PD padronizado mede como o PD se desvia de uma expectativa nula, gerada aleatoriamente com as pontas da filogenia (Kembel *et al.*, 2015).

Para verificar se as comunidades estavam filogeneticamente agrupadas ou superdispersas, calculamos o tamanho do efeito padronizado da distância filogenética média ($ses.MPD$) e o tamanho do efeito padronizado da distância média do táxon mais próximo ($ses.MNTD$). Essas métricas derivadas são equivalentes ao inverso dos índices NRI (Net Relatedness Index) e NTI (Nearest Taxon Index) de Webb (2000), respectivamente. Valores positivos de tamanho de efeito padronizado (ses) indicam superdispersão filogenética (espécies mais distantemente relacionadas entre si do que o esperado por acaso), enquanto valores negativos indicam agrupamento (espécies mais estreitamente relacionadas entre si do que o esperado por acaso). Optamos por trabalhar com ambas as métricas, uma vez que diferentes processos podem atuar em diferentes escalas de tempo evolutivas (Mazel *et al.*, 2016). Para os cálculos de tamanho de efeito padronizado, nossa árvore foi comparada com 10.000 randomizações de modelo nulo usando o algoritmo 'pool de filogenia'. Assim, calculamos essas métricas usando o pacote 'picante' (Kembel *et al.*, 2015) no software R versão 3.6.2 (R Development Core Team, 2019).

2.4.2. Análise estatística

Para todas as métricas de diversidade filogenética a normalidade e distribuição dos dados foram verificadas pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk e gráficos Q-Q (Crawley, 2013, Fig. S1, S2, e S3 – material suplementar). Para comparar as métricas filogenéticas entre os dois geoambientes foi aplicada uma análise de teste t de Student (para dados normalmente distribuídos).

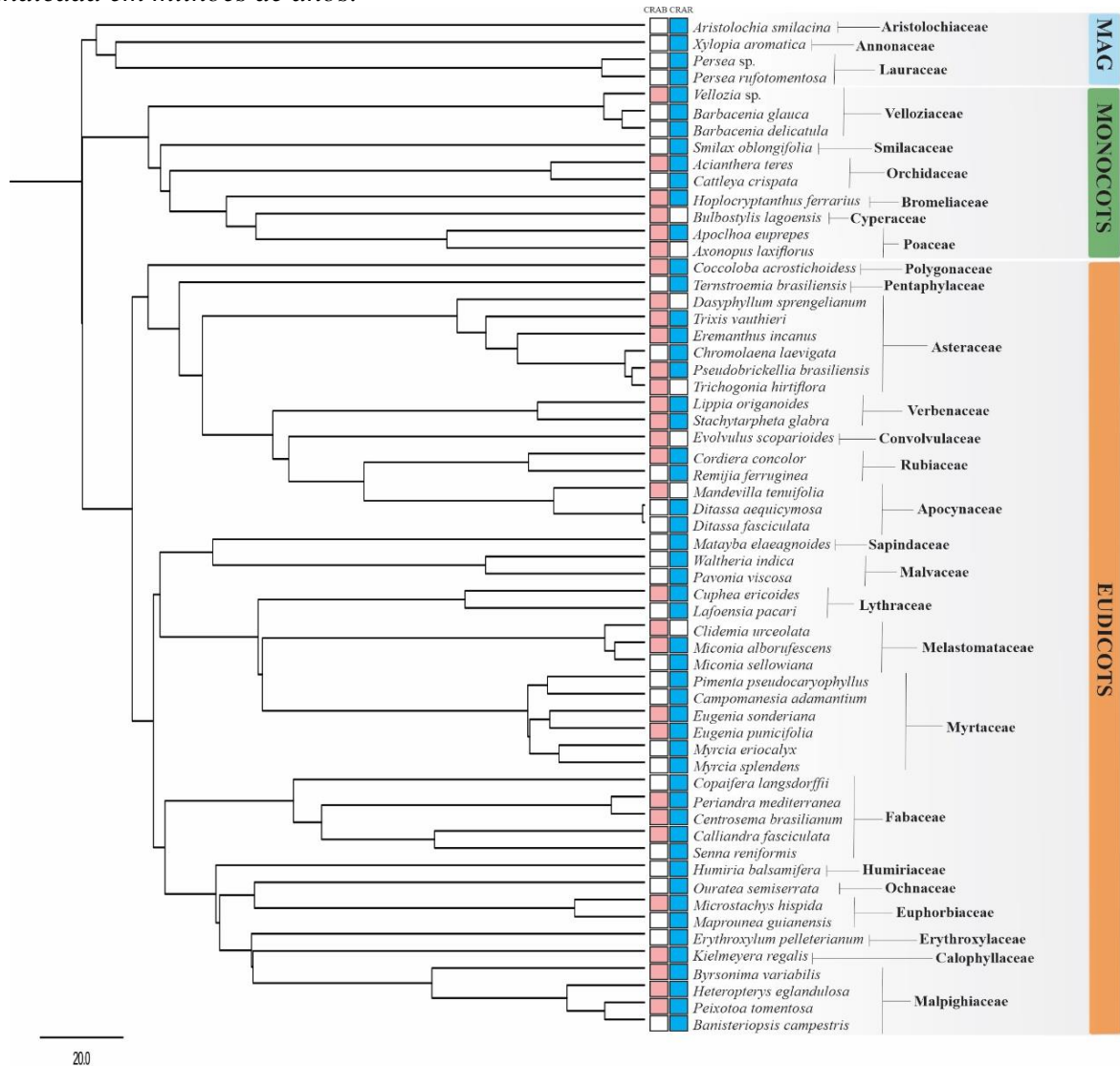
2.4.3. Modelos lineares de efeitos mistos

Os principais componentes das propriedades do solo (variáveis relacionadas com fertilidade, textura, e acidez), e profundidade do solo sobre a riqueza de espécies, diversidade filogenética (PD e ses.PD) e estrutura filogenética (MPD, ses.PMD, MNTD e ses.MNTD), foram testados usando diferentes modelos lineares de efeitos mistos (LMMs, com efeitos aleatórios e fixos) para uma distribuição gaussiana testada previamente. Usamos uma PCA baseada em macronutrientes (N e P) e saturação total de bases (SB = a soma dos cátions de base Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} e Na^{+} , em $\text{cmol}_c / \text{dm}^3$) para extrair os eixos da variabilidade da fertilidade do solo relacionada a nutrientes (PCA1f). Ainda, a SB foi usada como preditor de fertilidade em modelos separados. Depois disso, usamos uma PCA baseada em textura (argila, silte, areia) para extrair os escores da variabilidade da textura do solo relacionada às propriedades físicas (PCA1t), e finalmente este procedimento para PCA baseada em acidez, porém por tratar-se de Al e pH, estas variáveis foram usadas como preditores de forma individual nos modelos (Fig. S4 e S5 – material suplementar). Para seleção deste preditores foi feita uma análise de correlação de Pearson para evitar colinearidade entre variáveis (Fig. S6 – material suplementar). Assim, os preditores com efeitos fixos foram agrupados em três categorias: i) as propriedades de fertilidade do solo e variabilidade de textura usando PCA1f e PCA1t, respectivamente (variáveis explicativas contínuas), ii) profundidade do solo (variável explicativa contínua), e iii) variáveis relacionadas com acidez, como por exemplo Al e pH (variável explicativa contínuas). Testamos modelos com efeitos individuais de preditores, e os geoambientes foram considerados efeitos aleatórios. Todos os modelos foram calculados usando o pacote 'lme4' (Bates *et al.*, 2014) na plataforma R (R-Core-Team, 2019). Também usamos coeficientes dos preditores para interpretar estimativas de parâmetros em uma escala comparável usando o pacote 'jtools', com a finalidade de identificar os melhores modelos (Long, 2020). Para ilustração de gráfico neste estudo, usamos o pacote 'ggplot2' (Hadley, 2015).

3. RESULTADOS

Foram identificados 28 famílias, 54 gêneros, 59 espécies. CRAR apresentou maior riqueza (26 famílias, 46 gêneros, 52 espécies) se comparado à CRAB (18 famílias, 29 gêneros, 30 espécies) (Figura 2. 2). A maior parte das espécies amostradas pertencem às Eudicotiledôneas (~76%), seguidas por Monocotiledôneas (~17%) e Magnoliídeas (~7%). As famílias mais representativas foram Asteraceae (6), Myrtaceae (6), Fabaceae (5) e Malpighiaceae (4). Das espécies registradas, apenas seis foram avaliadas quanto ao risco de extinção (CNFLORA, 2012): pouco preocupante (LC) – *Acianthera teres*, *Byrsonima variabilis*, *Ditassa aequicymosa*, *Erythroxylum pelleterianum* e *Lafoensia pacari*; em perigo (EM) – *Barbacenia delicatula*. Além disso, 36 espécies são endêmicas do Brasil, quatro endêmicas de Minas Gerais e Bahia, e oito de Minas Gerais. Ademais, duas espécies foram identificadas apenas até gênero (*Persea* sp. e *Vellozia* sp.).

Figura 2. 2. Relações filogenéticas entre espécies amostradas em 80 parcelas na Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Brasil. Onde, os elementos marcados representam: quadrado rosa, taxa ocorrendo em Campo Rupestre Aberto (CRAB); quadrado azul, taxa ocorrendo em Campo Rupestre Arbustivo (CRAR); MAG= Magnoliids. A escala de divergência filogenética é indicada em milhões de anos.



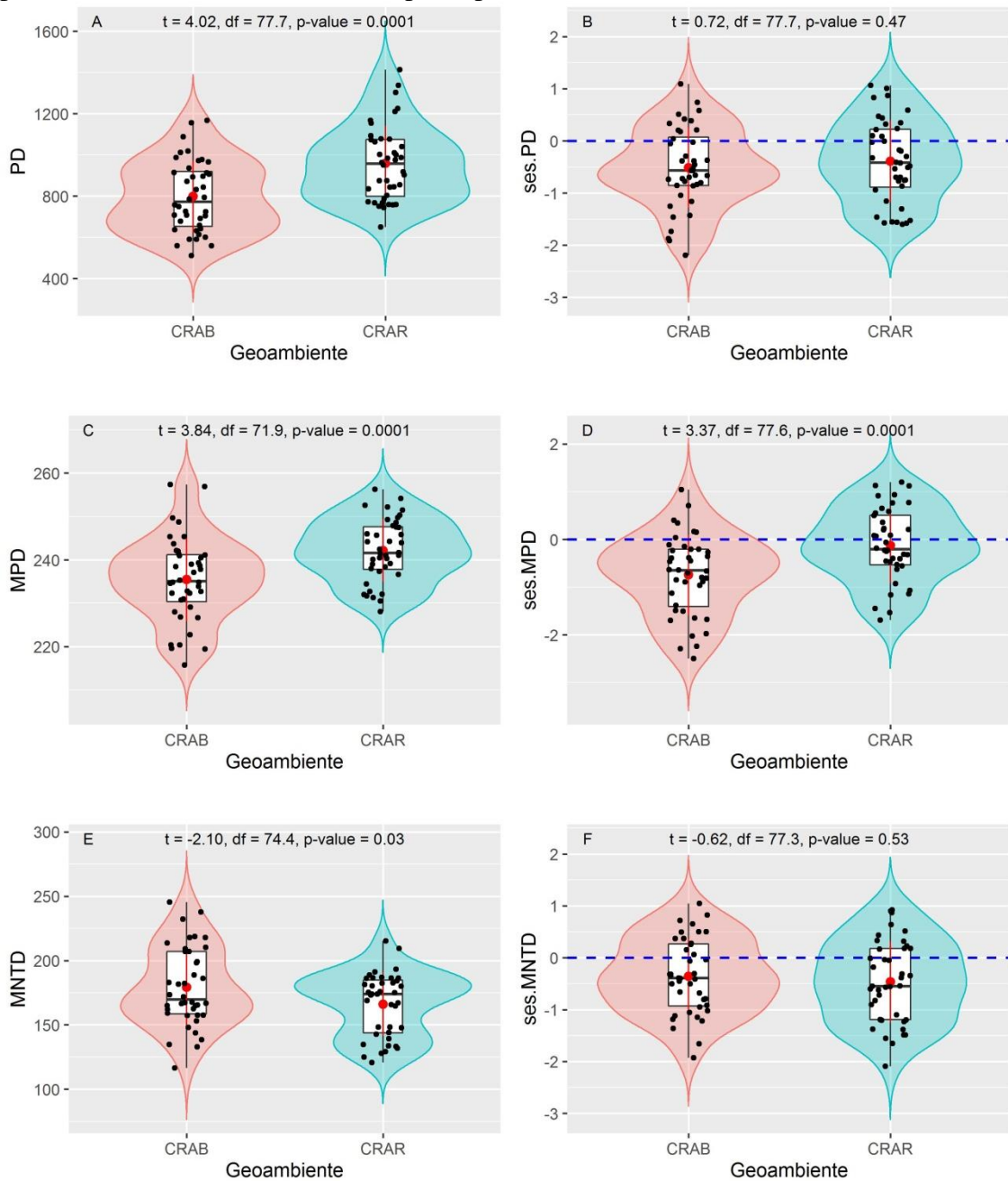
Fonte: Martins (2021).

3.1. Comparação da diversidade e estrutura filogenética entre geoambientes

Os resultados indicaram que apesar das diferenças de riqueza de espécies (Figura S7 do material suplementar) só houveram diferenças significativas entre os geoambientes CRAB e CRAR na diversidade filogenética (PD), distância filogenética média (MPD) e efeito padronizado da distância filogenética média (ses.MPD) (Figura 3: B, C, D). Os valores médios de MPD e ses.MPD para o geoambiente CRAR ficaram próximos de zero, indicando uma estrutura aleatória, enquanto que para CRAB, apresentaram-se negativos e longe de zero, indicam um agrupamento filogenético (Figura 3: C, D). Por outro lado, a média do táxon mais

próximo (MNTD) e o tamanho do efeito padronizado da distância média do táxon mais próximo (ses.MNTD) não apresentaram diferenças significativas entre geoambientes (Figura 2. 3).

Figura 2. 3. Variação na diversidade filogenética (PD; A), tamanho de efeito padronizado de PD (ses.PD; B), distância filogenética média (MPD; C), tamanho do efeito padronizado da distância filogenética média (ses.MPD; D), distância média do táxon mais próximo (MNTD; E), tamanho do efeito padronizado da distância média do táxon mais próximo (ses.MNTD; F) entre dois geoambientes da Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais: Campo Rupestre Aberto (CRAB; rosa) e Campo Rupestre Arbustivo (CRAR; azul).

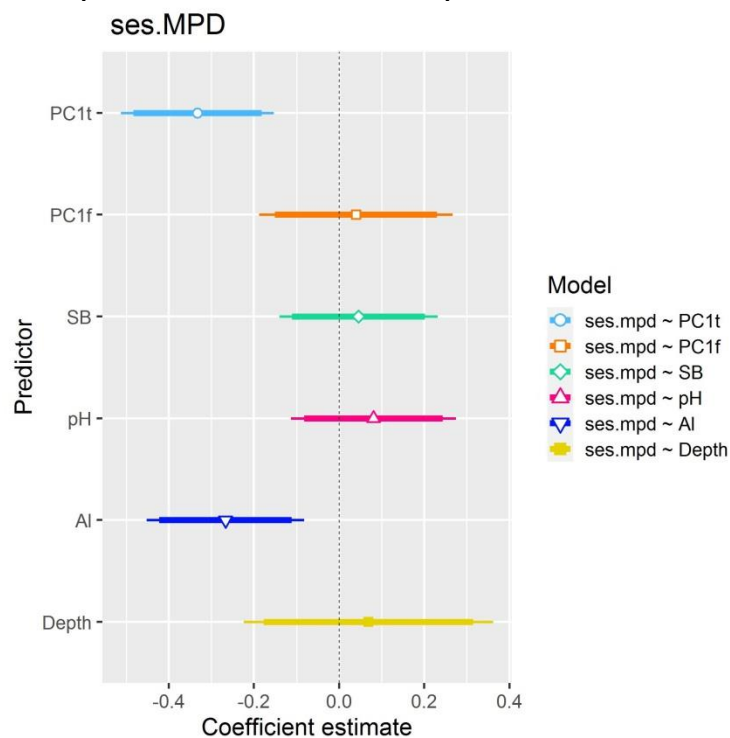


Fonte: Martins (2021).

3.2. Efeitos das propriedades do solo sobre estrutura filogenética

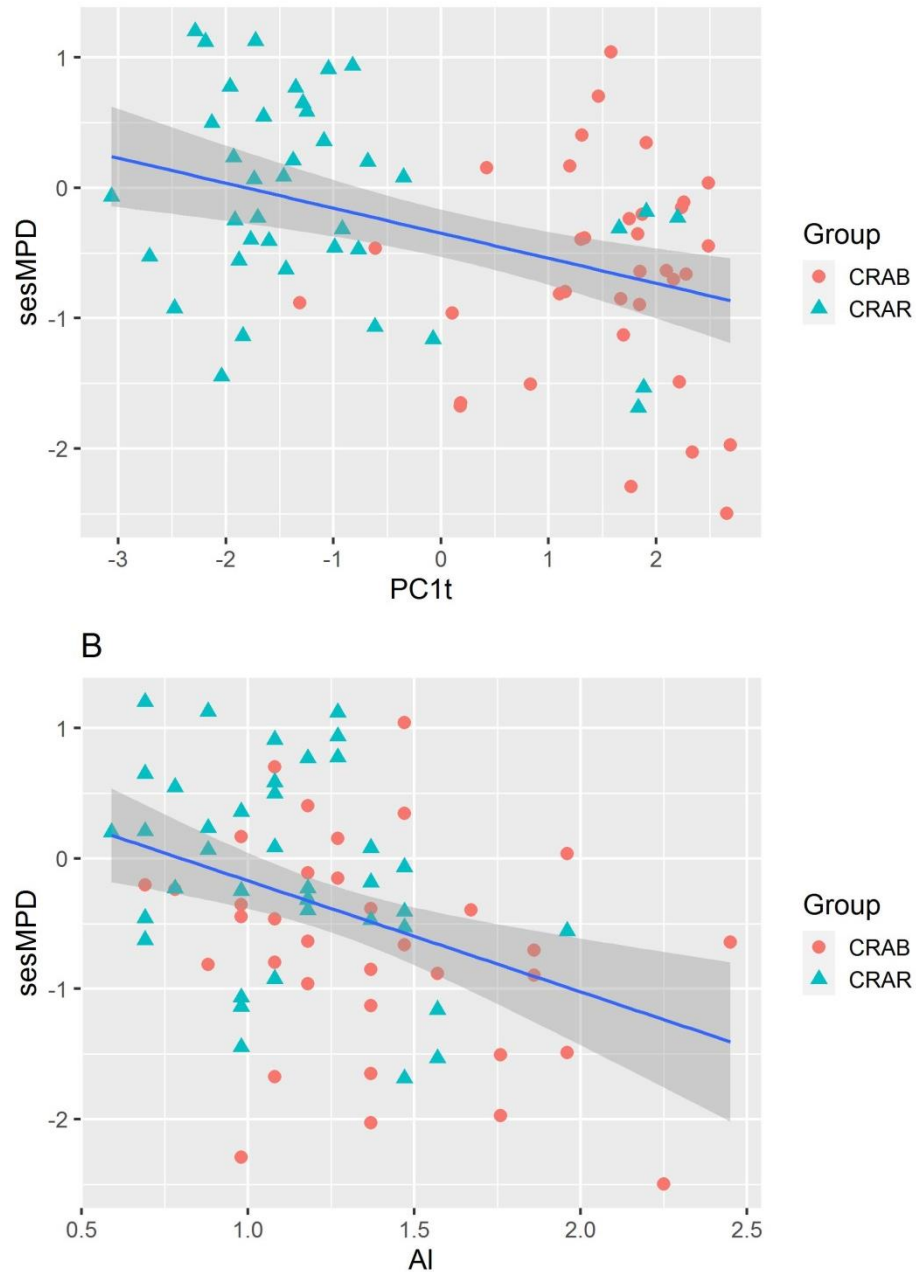
No geral, os resultados demonstram que modelos testados para as diferentes métricas de diversidade e estrutura filogenética indicam que variáveis do solo selecionadas não têm efeitos principais sobre a riqueza de espécies, diversidade e estrutura filogenética (Figura S8 – material suplementar). No entanto, se observaram dois modelos testados que mostram que o Al e PC1t foram os preditores mais importantes para explicar o efeito dos tamanhos padronizados da distância filogenética média (ses.MPD) com efeitos significativos (Figura 2. 4 e Figura 2.5). Assim, se observou que ses.MPD variou significativamente principalmente pelos efeitos negativos do Al (LMM, Est. = -0,70; $t = -2.78$; $P < 0,009$) e pela variabilidade da textura do solo entre geoambientes (LMM, Est. = -0,19; $t = -1,45$; $P < 0,001$) com efeitos negativos significativos (Figura 2. 4 e Figura 2.5).

Figura 2. 4. Modelos com efeitos significativos dos preditores sobre o efeito padronizado da distância filogenética média (ses.MPD). Onde, PC1f: variabilidade da fertilidade do solo relacionada ao conteúdo de nutrientes; PC1t: variabilidade das propriedades físicas da textura do solo; SB: soma das bases; pH: potencial hidrogeniônico; Al: alumínio; e Depth: profundidade. Testados para a Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais



Fonte: Martins (2021).

Figura 2. 5. Efeito da variabilidade das propriedades físicas da textura do solo (PCA1t) e do Alumínio presente no solo (Al) sobre a métrica ses.MPD. Essa relação é mostrada para os dois geoambientes amostrados na Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais, onde os círculos rosas representam o geoambiente CRAB (Campo Rupestre Aberto) e os triângulos azuis representam o geoambiente CRAR (Campo Rupestre Arbustivo).



Fonte: Martins (2021).

4. DISCUSSÃO

A diferença na diversidade filogenética entre os dois geoambientes foi explicada, principalmente, pelo efeito da textura no solo e efeitos negativos do Al. As diferenças na diversidade filogenética e estrutura da comunidade mostram-se, também, fortemente explicadas

pela textura em outros estudos sobre geoambientes de Complexos Rupestres (Le Stradic *et al.*, 2012; Campos *et al.*, 2021). Porém, esses estudos supracitados, foram realizados em solos quartzíticos, e nosso trabalho demonstra que essa diferenciação da vegetação explicada pela textura, encontrada em solos mais pedregosos e em solos mais arenosos, também é observada em solos ferruginosos. Neste estudo, os geoambientes mais pedregosos foram registrados em CRAB, além disso, esse geoambiente também apresentou maior teores de argila se comparado ao CRAR. Sabe-se que a argila além de dificultar o crescimento da raiz (Dexter, 2004), também está associada à maior retenção de nutrientes, ou seja, nos solos mais rochosos encontramos maior acidez e maior riqueza de nutrientes (Le Stradic *et al.*, 2012).

A hipótese das oscilações climáticas do Quaternário sugere a razão pela qual houve (neste estudo) um baixo efeito principal das variáveis do solo sobre a riqueza de espécies, na diversidade e na estrutura filogenética das comunidades, nos dois geoambientes amostrados. Essa hipótese mostra que em **períodos interglaciais** havia uma retração da vegetação dos campos rupestres nas regiões mais elevadas, e durante os **períodos glaciais** essa vegetação passava a ampliar o domínio para as regiões menos elevadas (Bonatelli *et al.*, 2014; Barres *et al.*, 2019). Além disso, a hipótese do Quaternário também explica a co-ocorrência das 23 espécies em CRAB e CRAR, e considerando que estamos no período interglacial (aquecimento global), seria comum observar um maior registro de espécies nas regiões mais elevadas, onde foi encontrado o geoambiente com maior riqueza de espécies – CRAR. Isso nos leva a deduzir que o CRAB, atualmente, seria um remanescente do período glacial, porém estudos mais detalhados ainda seriam necessários.

Para reforçar nossos pensamentos supracitados, De Matos *et al.* (2019) encontraram uma maior riqueza de espécies filogenéticas em áreas mais elevadas, as quais apresentam menor fertilidade nos Complexos Rupestres, corroborando com o encontrado em nossos resultados. Eles sugeriram, inclusive, que essa característica seja pela presença do conservadorismo de nicho filogenético (Losos, 2008).

O **agrupamento filogenético** encontrado em CRAB coincide com o encontrado por Zappi *et al.* (2017) que, inclusive, demonstra que tal comportamento ocorreu em campos abertos tanto de cangas quanto de solos quartzíticos. Esse agrupamento pode ter sido resultado de filtros ambientais interligados à eventos pretéritos ecologicamente importantes, cuja existência do sinal filogenético (similaridade ecológica das espécies relacionada ao parentesco entre elas - simpatria) indica que traços ancestrais foram mantidos nas linhagens atuais (Losos, 2008; Wiens *et al.*, 2010; Silveira, 2011).

Dentre os eventos pretéritos descritos na Teoria OCBIL que poderiam explicar o comportamento filogenético amostrado neste trabalho, a hipótese da Herança Gondwana (linhagens antigas) e a hipótese ‘*Ultimate Self*’ (indivíduo antigo) se destacam. A hipótese da Herança Gondwana postula que, devido à ausência de novos períodos glaciais e influências oceânicas diretas em muitas regiões de Complexos Rupestres (sobre tudo no Brasil) algumas linhagens que se diversificaram no período da era Gondwana puderam persistir até os dias atuais (Hopper, 2009). Já a hipótese ‘*Ultimate self*’, traz uma possível explicação para alguns taxa cuja evolução foi estável, sendo suficiente para suprir todos os desafios que os ambientes impuseram ao longo do tempo (de milhões de anos atrás até a atualidade) sem necessitar de novas variações genéticas para se adaptar (James, 2000). Em nosso cladograma é possível observar algumas espécies com esse perfil mais antigo de evolução (e.g. *Aristolochia smilacina*), porém estudos genéticos ainda seriam necessários na região estudada.

A **estrutura aleatória** encontrada em CRAR, indicada pelos valores próximos à zero, coincide com o encontrado por Campos *et al.* (2021) em geoambientes de Complexos Rupestres, onde a explicação mais plausível até o momento seria pela justaposição de paisagens antigas, climaticamente tamponadas e inférteis (OCBILs) com novas paisagens que foram moldadas por distúrbios e interferências temporais mais recentes (Silveira *et al.*, 2016; Campos *et al.*, 2021). Além disso, cada vez mais trabalhos como o de Fiorini *et al.* (2019) trazem novos argumentos que fortalecem a hipótese de isolamento e diferenciação populacional nos Campos Rupestres pelo baixo fluxo gênico zigótico entre as populações, destacando, assim, o potencial dos Complexos Rupestres de serem considerados tanto museus (contendo linhagens antigas) quanto fonte/berço (diversificações recentes de linhagens endêmicas) (Rull *et al.*, 2019), reforçando uma possível explicação para a existência da estrutura aleatória comumente encontrada nos Complexos Rupestres, sobretudo na região arbustiva.

5. CONCLUSÃO

1. Os dois geoambientes amostrados, apesar de próximos, apresentam-se diferentes quanto à estruturação de suas comunidades (CRAB apresentou um agrupamento filogenético enquanto CRAR uma estrutura aleatória).
2. Dentre as análises/métricas utilizadas para a Fazenda Volta da Tropa, as que apresentaram diferenças significativas foram PD, MPD e ses.MPD.
3. As variáveis selecionadas do solo sobre a estrutura filogenética não apresentaram efeitos principais sobre a riqueza de espécies e diversidade nos dois geoambientes amostrados,

entretanto, dentre os preditores, os efeitos negativos de AI e PC1t foram os mais importantes para explicar a variação de ses.MPD. Sendo a textura do solo determinante, em uma escala fina, para explicar as diferenças encontradas na diversidade filogenética e estrutura da comunidade dos dois geoambientes amostrados (CRAB e CRAR).

4. Os resultados apresentados neste trabalho corroboram e fornecem suporte às hipóteses postuladas na Teoria OCBIL, onde os Complexos Rupestres são devidamente considerados paisagens antigas, climaticamente tamponadas e inférteis, e como tais, apresentam singularidades ecossistêmicas associadas à grande diversidade e valioso endemismo de espécies botânicas.
5. Apesar de pouco comum no âmbito científico, ressalta-se a importância de trabalhos como este que desenvolvam pesquisa sobre diversidade filogenética atrelada à dados de solo e vegetação, para uma compreensão mais refinada sobre inferências de processos ecológicos dos Complexos Rupestres.

REFERÊNCIAS

- BATES, D.; MAECHLER, M.; BOLKER B; WALKER S. 2014. **lme4: linear mixed-effects models using Eigen and S4. R package version 1.1-7**. Available at: <http://CRAN.R-project.org/package=lme4>.
- BENITES, V.M.; CAIAFA, A.N.; MENDONÇA, E.S.; SCHAEFER, C.E.G.R.; KER, J.C. 2003. **Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e do Espinhaço**. *Floram* 10: 76–85.
- BRAUN-BLANQUET J. 1979. **Phytosociology. Basis for the study of plant communities**. Madrid: Blume.
- CARNAVAL, R. 2020. **Neotropical Diversification : Patterns and**.
- CAVENDER-BARES, J.; KOZAK, K.H.; FINE, P.V.A.; KEMBEL, S.W. 2009. **The merging of community ecology and phylogenetic biology**. *Ecology Letters* 12: 693–715.
- CENTENO, L. N.; GUEVARA, M. D. F.; CECCONELLO, S. T.; SOUSA, R. O.; TIMM, L. C. 2017. **Textura Do Solo: Conceitos E Aplicações Em Solos Arenosos**. *Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade*, 4(1): 31. <https://doi.org/10.15210/rbes.v4i1.11576>
- CIANCIARUSO, M. V.; SILVA, I. A.; BATALHA, M. A. 2009. **Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades**. *Biota Neotropica*, 9(3): 93–103. <https://doi.org/10.1590/s1676-06032009000300008>

- CRAWLEY, M.J. 2013. **The R book**. Chichester: John Wiley & Sons
- FAITH, D.P. 1992. **Conservation evaluation and phylogenetic diversity**. *Biological Conservation* 61: 1–10.
- FONSECA, M. B.; FRANÇA, M. G. C.; ZONTA, E.; GIORNI, V. 2010. **Crescimento inicial de *Dimorphandra wilsonii* (Fabaceae-Caesalpinioideae) em diferentes condições de fertilidade em solo de cerrado**. *Acta Botanica Brasilica*, 24: 322-327.
- GASTAUER, M. & MEIRA-NETO, J. A. A. 2014. **Interactions, Environmental Sorting and Chance: Phylostructure of a Tropical Forest Assembly**. *Folia Geobotanica*, 49(3): 443–459. <https://doi.org/10.1007/s12224-013-9181-1>
- GERHOLD, P.; CAHILL, J.F.; WINTER, M.; BARTISH, I.V.; PRINZING, A. 2015. **Phylogenetic patterns are not proxies of community assembly mechanisms (they are far better)**. *Functional Ecology* 29: 600–614.
- HOPPER, S. D. 2009. **OCBIL theory: Towards an integrated understanding of the evolution, ecology and conservation of biodiversity on old, climatically buffered, infertile landscapes**. *Plant and Soil*, 322(1): 49–86. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0068-0>
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resultado dos Dados Preliminares do Censo – 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/morro-do-pilar.html>. Acesso em: 15 set. 2019.
- JIN, Y. & QIAN, H. 2019. **V.PhyloMaker: an R package that can generate very large phylogenies for vascular plants**. *Ecography*, 42(8): 1353–1359. <https://doi.org/10.1111/ecog.04434>
- KEMBEL, S.W.; ACKERLY, D.D.; BLOMBERG, S.P.; CORNWELL, W.K.; COWAN, P.D.; HELMUS, M.R.; MORLON, H.; WEBB, C.O. 2015. **Package “picante”. R tools for integrating phylogenies and ecology**. R package version 1.6-2. Available at: <https://CRAN.R-project.org/package=picante>.
- LUZ, M. D. 2005. **Estrutura do componente arbóreo de floresta estacional em encosta norte, Viamão, sul do Brasil**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- MATSUMURA-TUNDISI, T. 2008. **Biodiversity in the Neotropics: Ecological, economic and social values**. *Brazilian Journal of Biology*, 68(4 SUPPL.), 913–915. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000500002>
- MAZEL, F.; DAVIES, T.J.; GALLIEN, L.; RENAUD, J.; GROUSSIN, M.; MÜNKEMÜLLER, T.; THUILLER, W. 2016. **Influence of tree shape and evolutionary time-scale on phylogenetic diversity metrics**. *Ecography* 39: 913–920.

MELO JÚNIOR, J. C. F.; Gonçalves, T. M.; JARDIM, R. I. L. 2019. **Adaptações estruturais e potencial plástico de *Schinus terebinthifolia* Raddi.(Anacardiaceae) em diferentes formações de restinga.** Revista Brasileira de Geografia Física, 12(06): 2218-2238.

MORELLATO, L. P. C. & SILVEIRA, F. A. O. 2018. **Plant life in campo rupestre: New lessons from an ancient biodiversity hotspot.** Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 238(2018): 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.12.001>.

MOUQUET, N.; DEVICTOR, V.; MEYNARD, C.N.; MUNOZ, F.; BERSIER, L.F.; CHAVE, J. 2012. **Ecophylogenetics: advances and perspectives.** Biological Reviews, 87: 769–785.

PAVOINE, S.; BONSALL, M.B. 2011. **Measuring biodiversity to explain community assembly: a unified approach.** Biological Reviews 86: 792–812.

PONTARA, V.; BUENO, M.L.; REZENDE, V.L.; OLIVEIRA-FILHO, A.T.; GASTAUER, M.; MEIRA-NETO, J.A.A. 2018. **Evolutionary history of campo rupestre: an approach for conservation of woody plant communities.** Biodiversity and Conservation 27: 2877–2896.

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.

R CORE TEAM. 2019. **R: A Language and environment for statistical computing.** Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.

RADICE, M. & SCALVENZI, L. 2020. **Etnofarmacología, bioactividad y fitoquímica de *Maxillaria densa* Lindl. Revisión científica y biocomercio en el neotrópico.** Revisión científica y biocomercio en el neotrópico. 23(2): 20–33.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. 2008. **Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32: 1805-1816.

SANTOS, H. G. 2018. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** In Embrapa Solos.

SCHAEFER, C.E.G.R.; CORRÊA, G.R., CANDIDO, H.G.; ARRUDA, D.M.; NUNES, J.A.; ARAUJO, R.W.; RODRIGUES, P.M.S.; FILHO, E.I.F; PEREIRA, A.F.S.; BRANDÃO, P.C.; NERI, A.V. 2016. **The physical environment of rupestrian grasslands (campos rupestres) in Brazil: geological, geomorphological and pedological characteristics, and interplays.** In: Fernandes GW, eds. Ecology and conservation of mountaintop grasslands in Brazil. Heidelberg: Springer International.

SCHAEFER, C. E. G. R.; CANDIDO, H. G.; CORRÊA, G. R.; PEREIRA, A.; NUNES, J. A.; SOUZA, O. F.; MARINS, A.; FERNANDES-FILHO, E.; KER, J. C. 2015. **Solos desenvolvidos sobre canga ferruginosa no Brasil: uma revisão crítica e papel ecológico de termiteiros**. Geossistemas Ferruginosos Do Brasil: Áreas Prioritárias Para Conservação Da Diversidade Geológica e Biológica, Patrimônio Cultural e Serviços Ambientais.

SCHAEFER, C.E.G.R.; CAMPOS, P.V.; CANDIDO, H.G.; CORREA, G.R.; FARIA, R.M.; VALE, J.F.J.R. 2020. **Serras e pantanais arenosos: solos e geoambientes em unidade de conservação da Amazônia, Brasil**. Neotropical Biology and Conservation 15: 43–69.

SILVEIRA, F.A.O.; NEGREIROS, D. BARBOSA, N.P.U.; BUISSON, E.; CARMO, F.F.; CARSTENSEN, D.W.; CONCEIÇÃO, A.A.; CORNELISSEN, T.G.; ECHTERNACHT, L.; FERNANDES, G.W.; GARCIA, Q.S.; GUERRA, T.J.; JACOBI, C.M.; LEMOS-FILHO, J.P.; LE STRADIC, S.; MORELLATO, L.P.C.; NEVES, F.S.; OLIVEIRA, R.S.; SCHAEFER, C.E.G. R.; VIANA, P.L.; LAMBERS, H. 2016. **Ecology and evolution of plant diversity in the endangered campo rupestre: a neglected conservation priority**. Plant and Soil 403: 129–152.

SILVEIRA, M.; TOMAS, W. M.; MARTINS, C. D. A.; FISCHER, E.; LIGHT, J. 2020. **Vegetal resources drive phylogenetic structure of phyllostomid bat assemblages in a Neotropical wetland**. Journal of Mammalogy, 101(1): 52–60. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyz200>

SOBRAL, F. L. & CIANCIARUSO, M. V. 2012. **Estrutura filogenética e funcional de assembléias: (Re)montando a ecologia de comunidades em diferentes escalas espaciais**. Bioscience Journal, 28(4): 617–631.

SOUZA, M. C. 2014. **Nutrição mineral e escleromorfismo foliar de grupos funcionais e comunidades vegetais savânicas**. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro.

TRICART J & KIEWIETDEJONGE C. 1992. **Ecogeography and rural management: a contribution to the International GeosphereBiosphere Program**. Harlow: Longman Scientific & Technical.

WEBB, C. O. 2000. **Exploring the phylogenetic structure of ecological communities: An example for rain forest trees**. American Naturalist, 156(2): 145–155. <https://doi.org/10.1086/303378>

WEBB, C. O.; ACKERLY, D. D.; MCPEEK, M. A.; DONOGHUE, M. J. 2002. **Phylogenies and community ecology**. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 33: 475–505. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.33.010802.150448>.

WIENS, J. J. & GRAHAM, C. H. 2005. **Niche conservatism: Integrating evolution, ecology, and conservation biology**. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 36: 519–539. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.36.102803.095431>

WIENS, J.J.; ACKERLY, D.D.; ALLEN, A.P.; ANACKER, B.L.; BUCKLEY, L.B.; CORNELL, H.V.; DAMSCHEN, E.I.; DAVIES, T.J.; GRYTNES, J.A.; STEPHENS, P.R. 2010. **Niche conservatism as an emerging principle in ecology and conservation biology**. *Ecology Letters* 13: 1310–1324

ZAPPI, C.; MORO, M. F.; WALKER, B.; MEAGHER, T.; VIANA, P. L.; MOTA, N. F. O.; WATANABE, M. T. C.; LUGHADHA, E. N. 2019. **Plotting a future for Amazonian canga vegetation in a campo rupestre context**. *PLoS ONE*, 14(8): 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219753>.

APÊNDICE A

Tabela 1

Tabela 1. Lista das espécies amostradas na Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais, com sua respectiva família; ocorrência no geoambiente campo rupestre aberto e/ou campo rupestre arbustivo; condição de endemismo do Brasil; ocorrência (MG= endêmica de Minas Gerais; MG/BA= só ocorre em Minas Gerais e Bahia; as demais podem ocorrer em todo o Brasil); e categoria quanto a avaliação de ameaça segundo a CNCFlora, 2012 (LC= pouco preocupante; NT= quase ameaçada; VU= vulnerável; EN= em perigo; CR= criticamente em perigo; EW= extinta da natureza; EX= extinta).

Espécies		Família	Campo aberto	Campo arbustivo	Endêmica	Ocorrência	Categoria
<i>Acianthera teres</i>	(Lindl.) Borba	Orchidaceae	X	X	X	-	LC
<i>Apochloa euprepes</i>	(Renvoize) Zuloaga & Morrone	Poaceae	X	X	X	MG/BA	-
<i>Aristolochia smilacina</i>	(Klotzsch) Duch.	Aristolochia	-	X	-	-	-
<i>Axonopus laxiflorus</i>	(Trin.) Chase	Poaceae	X	-	X	MG/BA	-
<i>Banisteriopsis campestris</i>	(A.Juss.) Little	Malpighiaceae	-	X	X	-	-
<i>Barbacenia delicatula</i>	L.B.Sm. & Ayensu	Velloziaceae	-	X	X	MG	EN
<i>Barbacenia glauca</i>	Mart. ex Schult. & Schult.f.	Velloziaceae	-	X	X	MG	-
<i>Bulbostylis lagoensis</i>	(Boeckeler) Prata & M.G.López	Cyperaceae	X	-	-	-	-
<i>Byrsonima variabilis</i>	A.Juss.	Malpighiaceae	X	X	X	-	LC
<i>Calliandra fasciculata</i>	Benth.	Fabaceae	X	X	X	MG	-
<i>Campomanesia adamantium</i>	(Cambess.) O.Berg	Myrtaceae	-	X	-	-	-
<i>Cattleya crispata</i>	(Thunb.) Van den Berg	Orchidaceae	-	X	X	-	-
<i>Centrosema brasilianum</i>	(L.) Benth.	Fabaceae	X	X	-	-	-

<i>Chromolaena laevigata</i>	(Lam.) R.M.King & H.Rob.	Asteraceae	-	X	-	-	-
<i>Clidemia urceolata</i>	D.C.	Melastomataceae	X	-	-	-	-
<i>Coccoloba acrostichoides</i>	Cham.	Polygonaceae	X	X	X	MG	-
<i>Copaifera langsdorffii</i>	Desf.	Fabaceae	-	X	-	-	-
<i>Cordia concolor</i>	(Cham.) Kuntze	Rubiaceae	X	X	-	-	-
<i>Cuphea ericoides</i>	Cham. & Schtdl.	Lythraceae	X	X	X	-	-
<i>Dasyphyllum sprengelianum</i>	(Gardner) Cabrera	Asteraceae	X	-	X	-	-
<i>Ditassa aequicymosa</i>	E.Fourn.	Apocynaceae	-	X	X	MG	LC
<i>Ditassa fasciculata</i>	E.Fourn.	Apocynaceae	-	X	X	MG	-
<i>Eremanthus incanus</i>	(Less.) Less.	Asteraceae	X	X	X	MG/BA	-
<i>Erythroxylum pelleterianum</i>	A.St.-Hil.	Erythroxylaceae	-	X	-	-	LC
<i>Eugenia puniceifolia</i>	(Kunth) DC.	Myrtaceae	X	X	X	-	-
<i>Eugenia sonderiana</i>	O.Berg	Myrtaceae	X	X	X	-	-
<i>Evolvulus scoparioides</i>	Mart.	Convolvulaceae	X	-	X	MG/BA	-
<i>Heteropterys eglandulosa</i>	A. Juss.	Malpighiaceae	X	X	-	-	-
<i>Hoplocryptanthus ferrarius</i>	(Leme & C.C.Paula) Leme, S.Heller & Zizka	Bromeliaceae	X	X	X	MG	-
<i>Humiria balsamifera</i>	(Aubl.) A.St.-Hil.	Humiriaceae	-	X	-	-	-
<i>Kielmeyera regalis</i>	Saddi	Calophyllaceae	X	X	X	MG	-
<i>Lafoensia pacari</i>	A.St.-Hil.	Lythraceae	-	X	-	-	LC
<i>Lippia origanoides</i>	Kunth	Verbenaceae	X	X	-	-	-

<i>Mandevilla tenuifolia</i>	(J.C.Mikan) Woodson	Apocynaceae	X	-	-	-	-
<i>Maprounea guianensis</i>	Aubl.	Euphorbiaceae	-	X	-	-	-
<i>Matayba elaeagnoides</i>	Radlk.	Sapindaceae	-	X	-	-	-
<i>Miconia alborufescens</i>	Naudin	Melastomataceae	X	X	-	-	-
<i>Miconia sellowiana</i>	Naudin	Melastomataceae	-	X	X	-	-
<i>Microstachys hispida</i>	(Mart. & Zucc.) Govaerts	Euphorbiaceae	X	X	-	-	-
<i>Myrcia eriocalyx</i>	DC.	Myrtaceae	-	X	X	-	-
<i>Myrcia splendens</i>	(Sw.) DC.	Myrtaceae	-	X	X	-	-
<i>Ouratea semiserrata</i>	(Mart. & Nees) Engl.	Ochnaceae	-	X	X	-	-
<i>Pavonia viscosa</i>	A.St.-Hil.	Malvaceae	-	X	X	x	-
<i>Peixotoa tomentosa</i>	A.Juss.	Malpighiaceae	X	X	X	-	-
<i>Periandra mediterranea</i>	(Vell.) Taub.	Fabaceae	X	X	-	-	-
<i>Persea rufotomentosa</i>	Nees & Mart.	Lauraceae	-	X	X	-	NT
<i>Persea</i> sp.	-	Lauraceae	-	X	-	-	-
<i>Pimenta pseudocaryophyllus</i>	(Gomes) Landrum	Myrtaceae	-	X	X	-	-
<i>Pseudobrickellia brasiliensis</i>	(Spreng.) R.M.King & H.Rob.	Asteraceae	X	X	X	-	-
<i>Remijia ferruginea</i>	(A.St.-Hil.) DC.	Rubiaceae	-	X	X	-	-

<i>Senna reniformis</i>	(G.Don) H.S.Irwin & Barneby	Fabaceae	-	X	X	-	-
<i>Smilax oblongifolia</i>	Pohl ex Griseb.	Smilacaceae	-	X	X	-	-
<i>Stachytarpheta glabra</i>	Cham.	Verbenaceae	X	X	X	BA	-
<i>Temstroemia brasiliensis</i>	Cambess.	Pentaphylacaceae	-	X	X	-	LC
<i>Trichogonia hirtiflora</i>	(DC.) Sch.Bip. ex Baker	Asteraceae	X	-	X	BA	NT
<i>Trixis vauthieri</i>	DC.	Asteraceae	X	X	X	-	-
<i>Vellozia</i> sp.	-	Velloziaceae	X	X	-	-	-
<i>Waltheria indica</i>	L.	Malvaceae	-	X	-	-	-
<i>Xylopia aromatica</i>	(Lam.) Mart.	Annonaceae	-	X	-	-	LC

Fonte: Martins (2021).

Tabela 2

Tabela 2. Parâmetros fitossociológicos das espécies amostradas no campo rupestre aberto (CRAB), na Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, MG, ordenada de forma decrescente em valor de importância, onde AB: abundância; FA: frequência absoluta; FR: frequência relativa; DA: densidade absoluta; DR: densidade relativa; VC: valor de cobertura (%), segundo proposto por Braun-Blanquet; VCr: valor de cobertura relativa; VI: valor de importância (%).

Espécie	AB	FA	FR	DA	DR	VC	VCr	VI
<i>Periandra mediterranea</i>	1245	100	12,422	1,245	41,47235	86,1	0,19028	54,085
<i>Vellozia sp.</i>	932	42,5	5,280	0,932	31,04597	49	0,10829	36,434
<i>Evolvulus scoparioides</i>	253	67,5	8,385	0,253	8,427715	24,3	0,05370	16,867
<i>Heteropterys eglandulosa</i>	63	65	8,075	0,063	2,098601	36,5	0,08066	10,254
<i>Microstachys hispida</i>	80	60	7,453	0,08	2,66489	16,3	0,03602	10,154
<i>Cordia concolor</i>	58	65	8,075	0,058	1,932045	43	0,09503	10,102
<i>Stachytarpheta glabra</i>	54	60	7,453	0,054	1,798801	24,7	0,05459	9,307
<i>Pseudobrickellia brasiliensis</i>	43	62,5	7,764	0,043	1,432378	39,1	0,08641	9,283
<i>Calliandra fasciculata</i>	39	37,5	4,658	0,039	1,299134	25,1	0,05547	6,013
<i>Bulbostylis lagoensis</i>	49	20	2,484	0,049	1,632245	4,5	0,00994	4,127
<i>Kielmeyera regalis</i>	19	27,5	3,416	0,019	0,632911	22	0,04862	4,098
<i>Eremanthus incanus</i>	27	25	3,106	0,027	0,899400	21	0,04641	4,051
<i>Dasyphyllum sprengelianum</i>	14	22,5	2,795	0,014	0,466356	6,4	0,01414	3,276
<i>Axonopus laxiflorus</i>	19	20	2,484	0,019	0,632911	8,3	0,01834	3,136
<i>Lippia organoides</i>	10	22,5	2,795	0,01	0,333111	1,8	0,00398	3,132
<i>Centrosema brasilianum</i>	22	17,5	2,174	0,022	0,732845	6,3	0,01392	2,921

<i>Peixotoa tomentosa</i>	10	20	2,484	0,01	0,333111	7,2	0,01591	2,833
<i>Trixis vauthieri</i>	5	12,5	1,553	0,005	0,166556	2,3	0,00508	1,724
<i>Cuphea ericoides</i>	11	10	1,242	0,011	0,366422	3,1	0,00685	1,616
<i>Apochloa euprepes</i>	8	10	1,242	0,008	0,266489	6	0,01326	1,522
<i>Aciantera teles</i>	24	5	0,621	0,024	0,799467	2,1	0,00464	1,425
<i>Clidemia urceolata</i>	4	5	0,621	0,004	0,133245	2,1	0,00464	0,759
<i>Byrsonima variabilis</i>	3	5	0,621	0,003	0,099933	5	0,01105	0,732
<i>Hoplocrytanthus ferrarius</i>	3	5	0,621	0,003	0,099933	0,2	0,00044	0,721
<i>Eugenia puniceifolia</i>	2	5	0,621	0,002	0,066622	4	0,00884	0,697
<i>Coccoloba acrostichoides</i>	1	2,5	0,311	0,001	0,033311	2	0,00442	0,348
<i>Miconia alborufescens</i>	1	2,5	0,311	0,001	0,033311	2	0,00442	0,348
<i>Eugenia sonderiana</i>	1	2,5	0,311	0,001	0,033311	1	0,00221	0,346
<i>Trichogonia hirtiflora</i>	1	2,5	0,311	0,001	0,033311	1	0,00221	0,346
<i>Mandevilla tenuifolia</i>	1	2,5	0,311	0,001	0,033311	0,1	0,00022	0,344
Total		805		3,002	100	452,5		201,000

Fonte: Martins (2021).

Tabela 3

Tabela 3. Parâmetros fitossociológicos das espécies amostradas no campo rupestre arbustivo (CRAR), na Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, MG, ordenada de forma decrescente em valor de importância, onde AB: abundância; FA: frequência absoluta; FR: frequência relativa; DA: densidade absoluta; DR: densidade relativa; VC: valor de cobertura (%), segundo proposto por Braun-Blanquet; VCr: valor de cobertura relativa; VI: valor de importância (%).

Espécie	AB	FA	FR	DA	DR	VC	VCr	VI
<i>Apochloa euprepes</i>	874	97,5	9,8237	0,874	38,36699	127	0,178346	48,3690
<i>Periandra mediterranea</i>	328	62,5	6,2972	0,328	14,3986	38,3	0,053785	20,7496
<i>Pseudobrickellia brasiliensis</i>	166	85	8,5642	0,166	7,287094	109	0,153068	16,0044
<i>Eremanthus incanus</i>	125	80	8,0605	0,125	5,48727	90	0,126387	13,6741
<i>Vellozia</i> sp.	201	30	3,0227	0,201	8,823529	27	0,037916	11,8841
<i>Lippia origanoides</i>	79	70	7,0529	0,079	3,467954	45,3	0,063615	10,5845
<i>Peixotoa tomentosa</i>	58	75	7,5567	0,058	2,546093	27,4	0,038478	10,1412
<i>Cordia concolor</i>	33	45	4,5340	0,033	1,448639	29,1	0,040865	6,0235
<i>Cuphea ericoides</i>	50	35	3,5264	0,05	2,194908	13,5	0,018958	5,7403
<i>Heteropterys eglandulosa</i>	18	35	3,5264	0,018	0,790167	17,2	0,024154	4,3408
<i>Eugenia sonderiana</i>	29	25	2,5189	0,029	1,273047	15,3	0,021486	3,8134
<i>Barbacenia glauca</i>	24	22,5	2,2670	0,024	1,053556	10,3	0,014464	3,3350
<i>Calliandra fasciculata</i>	29	15	1,5113	0,029	1,273047	14	0,01966	2,8040
<i>Miconia alborufescens</i>	23	17,5	1,7632	0,023	1,009658	11,1	0,015588	2,7885
<i>Hoplocrytanthus ferrarius</i>	18	17,5	1,7632	0,018	0,790167	2,5	0,003511	2,5569
<i>Miconia sellowiana</i>	11	20	2,0151	0,011	0,48288	10,3	0,014464	2,5125

<i>Myrcia eriocalyx</i>	9	20	2,0151	0,009	0,395083	13	0,018256	2,4285
<i>Persea rufotomentosa</i>	14	17,5	1,7632	0,014	0,614574	13	0,018256	2,3961
<i>Smilax oblongifolia</i>	11	17,5	1,7632	0,011	0,48288	4,4	0,006179	2,2523
<i>Centrosema brasilianum</i>	10	17,5	1,7632	0,01	0,438982	3,6	0,005055	2,2073
<i>Microstachys hispida</i>	17	12,5	1,2594	0,017	0,746269	2,4	0,00337	2,0091
<i>Campomanesia adamantium</i>	16	12,5	1,2594	0,016	0,702371	11	0,015447	1,9773
<i>Aciantera teles</i>	19	10	1,0076	0,019	0,834065	2,3	0,00323	1,8449
<i>Persea</i> sp.	10	12,5	1,2594	0,01	0,438982	11	0,015447	1,7139
<i>Pimenta pseudocaryophyllus</i>	30	2,5	0,2519	0,03	1,316945	1	0,001404	1,5702
<i>Ternstroemia brasiliensis</i>	5	12,5	1,2594	0,005	0,219491	7,1	0,009971	1,4889
<i>Trixis vauthieri</i>	5	12,5	1,2594	0,005	0,219491	1,4	0,001966	1,4809
<i>Maprounea guianensis</i>	5	10	1,0076	0,005	0,219491	1,3	0,001826	1,2289
<i>Remijia ferrugínea</i>	4	10	1,0076	0,004	0,175593	6,1	0,008566	1,1917
<i>Banisteriopsis campestris</i>	8	7,5	0,7557	0,008	0,351185	4,1	0,005758	1,1126
<i>Ditassa fasciculata</i>	3	7,5	0,7557	0,003	0,131694	2,1	0,002949	0,8903
<i>Stachytarpheta glabra</i>	7	5	0,5038	0,007	0,307287	3	0,004213	0,8153
<i>Eugenia puniceifolia</i>	5	5	0,5038	0,005	0,219491	2,1	0,002949	0,7262
<i>Byrsonima variabilis</i>	3	5	0,5038	0,003	0,131694	4	0,005617	0,6411
<i>Coccoloba acrostichoides</i>	3	5	0,5038	0,003	0,131694	4	0,005617	0,6411

<i>Ouratea semiserrata</i>	3	5	0,5038	0,003	0,131694	4	0,005617	0,6411
<i>Myrcia splendens</i>	3	5	0,5038	0,003	0,131694	3	0,004213	0,6397
<i>Ditassa aequicymosa</i>	3	5	0,5038	0,003	0,131694	0,2	0,000281	0,6358
<i>humiria balsamifera</i>	2	5	0,5038	0,002	0,087796	6	0,008426	0,6000
<i>Kielmeyera regalis</i>	2	5	0,5038	0,002	0,087796	4	0,005617	0,5972
<i>Waltheria indica</i>	2	5	0,5038	0,002	0,087796	1,1	0,001545	0,5931
<i>Xylopia aromática</i>	3	2,5	0,2519	0,003	0,131694	3	0,004213	0,3878
<i>Erythroxylum pelleterianum</i>	1	2,5	0,2519	0,001	0,043898	2	0,002809	0,2986
<i>Matayba elaeagnoides</i>	1	2,5	0,2519	0,001	0,043898	2	0,002809	0,2986
<i>Lafoensia pacari</i>	1	2,5	0,2519	0,001	0,043898	1	0,001404	0,2972
<i>Senna reniformis</i>	1	2,5	0,2519	0,001	0,043898	1	0,001404	0,2972
<i>Aristolochia smilacina</i>	1	2,5	0,2519	0,001	0,043898	0,1	0,00014	0,2959
<i>Barbacenia delicatula</i>	1	2,5	0,2519	0,001	0,043898	0,1	0,00014	0,2959
<i>Cattleya crispata</i>	1	2,5	0,2519	0,001	0,043898	0,1	0,00014	0,2959
<i>Chromolaena laevigata</i>	1	2,5	0,2519	0,001	0,043898	0,1	0,00014	0,2959
<i>Copaifera langsdorffii</i>	1	2,5	0,2519	0,001	0,043898	0,1	0,00014	0,2959
<i>Pavonia viscosa</i>	1	2,5	0,2519	0,001	0,043898	0,1	0,00014	0,2959
Total		992,5		2,278	100	712,1		201,0000

Fonte: Martins (2021).

Tabela 4

Tabela 4. Teste de normalidade (Shapiro Wilk) e teste não paramétrico (Mann-Whitney) para as variáveis abundância (Ab.), riqueza (Riq.) e cobertura (Cob.) da vegetação dos geoambientes CRAB (campo rupestre aberto) e CRAR (campo rupestre arbustivo) na Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais, Brasil.

	Shapiro Wilk		Mann-Whitney	
	CRAB	CRAR	z	p-value
Ab.	1.19E-15	4.67E-15	2.764	0.0057
Riq.	7.99E-11	2.10E-14	4.3765	1.21E-05
Cob.	4.67E-12	8.79E-13	2.9383	0.0032

Fonte: Martins (2021).

Tabela 5

Tabela 5. Gradiente de variáveis químicas e físicas do solo em dois geoambientes amostrados na Fazenda Volta da Tropa, Minas Gerais, Brasil. Onde, CRAR = campo rupestre arbustivo; CRAB = campo rupestre aberto; I = média e desvio padrão; II = testes estatísticos; z = Mann Whitney (as células representadas com asterisco (*) apresentaram distribuição normal, de acordo com o teste de Shapero-Wilk, e por isso foi utilizado o teste t de Student).

	I		II	
	CRAB	CRAR	z	p value
pH (H ₂ O)	4.55 ± 0.28	4.37 ± 0.20	3.34*	0.0013
pH (KCl)	3.08 ± 0.14	3.05 ± 0.16	0.93*	0.3539
P (mg/dm ³)	6.36 ± 3.25	3.61 ± 1.02	4.18	0.0000
N (dag/kg)	0.54 ± 0.21	0.21 ± 0.08	8.99	0.0000
K ⁺ (mg/dm ³)	68.6 ± 29.11	45 ± 17.45	4.51	0.0000
Na ⁺ (mg/dm ³)	1.25 ± 2.90	4.44 ± 3.89	4.54	0.0000
Ca ²⁺ (cmolc/dm ³)	0.91 ± 0.52	0.73 ± 0.40	1.51	0.1296
Mg ²⁺ (cmolc/dm ³)	0.18 ± 0.14	0.18 ± 0.12	0.11	0.9117
Al ³⁺ (cmolc/dm ³)	1.31 ± 0.43	1.1 ± 0.32	2.52*	0.0136
H ⁺ Al ³⁺ (cmolc/dm ³)	20.41 ± 4.01	14.45 ± 3.19	5.85	0.0000
SB (cmolc/dm ³)	1.27 ± 0.69	1.04 ± 0.53	1.45	0.1462
t (cmolc/dm ³)	2.58 ± 0.67	2.14 ± 0.61	2.91	0.0036
T (cmolc/dm ³)	21.68 ± 4.20	15.49 ± 3.42	5.85	0.0000
V (%)	5.92 ± 2.76	6.68 ± 2.97	1.22	0.2234
m (%)	52.12 ± 16.19	53.21 ± 14.34	0.32*	0.7508
ISNa (%)	0.03 ± 0.06	0.13 ± 0.13	4.85	0.0000
MO (dag/kg)	22.35 ± 7.37	7.41 ± 3.47	6.67	0.0000
P-Rem (mg/L)	34.59 ± 6.81	37.25 ± 5.52	1.59	0.1123
Cu (mg/dm ³)	0.52 ± 0.15	0.4 ± 0.15	3.69	0.0002
Mn (mg/dm ³)	6.82 ± 4.64	6.64 ± 4.69	0.34	0.7326
Fe (mg/dm ³)	443.96 ± 131.69	319 ± 104.94	4.69*	0.0000
Zn (mg/dm ³)	2.13 ± 0.92	1.19 ± 0.58	4.66	0.0000
Areia Grossa	0.27 ± 0.16	0.29 ± 0.11	1.52	0.1272
Areia Fina	0.08 ± 0.03	0.43 ± 0.11	19.68*	0.0000
Silte	0.24 ± 0.08	0.15 ± 0.06	5.44	0.0000
Argila	0.41 ± 0.10	0.13 ± 0.05	15.17*	0.0000

Fonte: Martins (2021).

Tabela 6

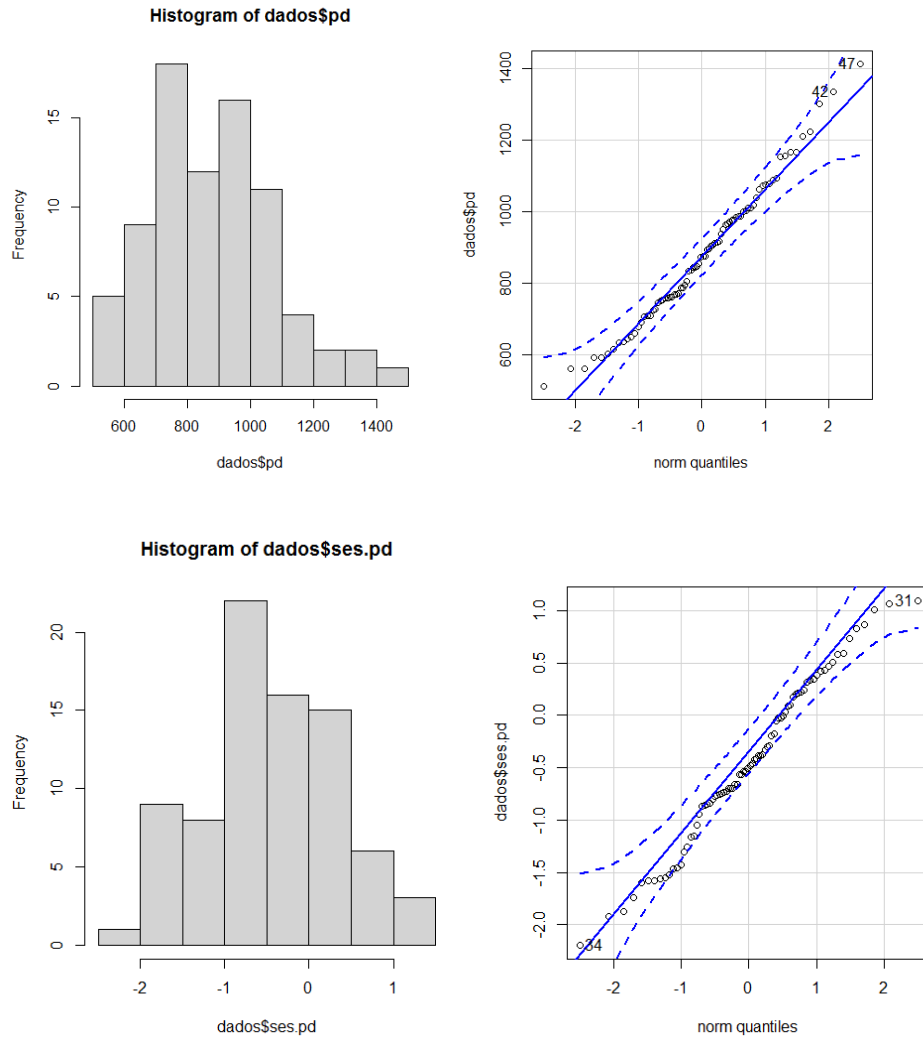
Tabela 6. Profundidade em centímetros encontrada em cada parcela. Onde CRAB = Campo Rupestre Aberto; CRAR = Campo Rupestre Arbustivo. Realizado na Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais, Brasil.

Parcela	CRAB	CRAR
1	2.3	18
2	1.5	8.5
3	4	11.5
4	2.5	10
5	2.2	9
6	8	11.5
7	2.2	7
8	4	14
9	6	19.5
10	4	8.5
11	3	8.5
12	3.5	12.5
13	7	9.5
14	4.5	17.5
15	9	10
16	4.5	10.5
17	2	9.5
18	4.5	8.5
19	8.7	9.2
20	3.8	8
21	3	16.5
22	3.5	12.8
23	5.2	12.3
24	3.3	10.8
25	4	11.4
26	2.8	11
27	3.3	8.5
28	2	9.5
29	1	9.5
30	1.8	10.5
31	6.5	11.3
32	2.5	10.5
33	3	7.5
34	1.7	11.8
35	2	15.5
36	2.5	10.5
37	4.8	10
38	2.7	11.5
39	3.3	10
40	3.5	13.5

Fonte: Martins (2021).

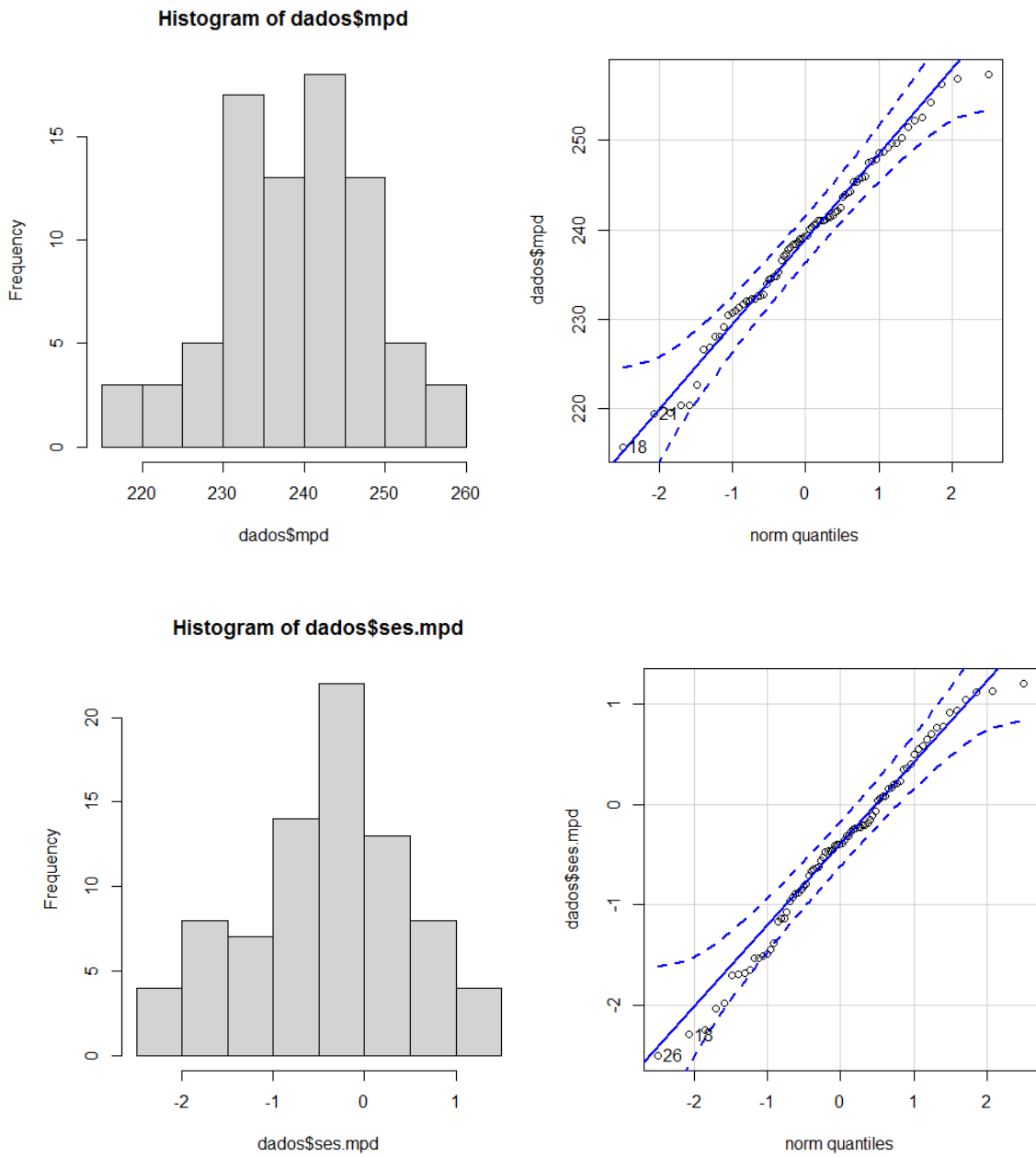
MATERIAL SUPLEMENTAR

Figura S. 1. Teste de normalidade de Shapiro-Wilk: histograma e diagrama Q-Q das análises de pd e ses.pd.



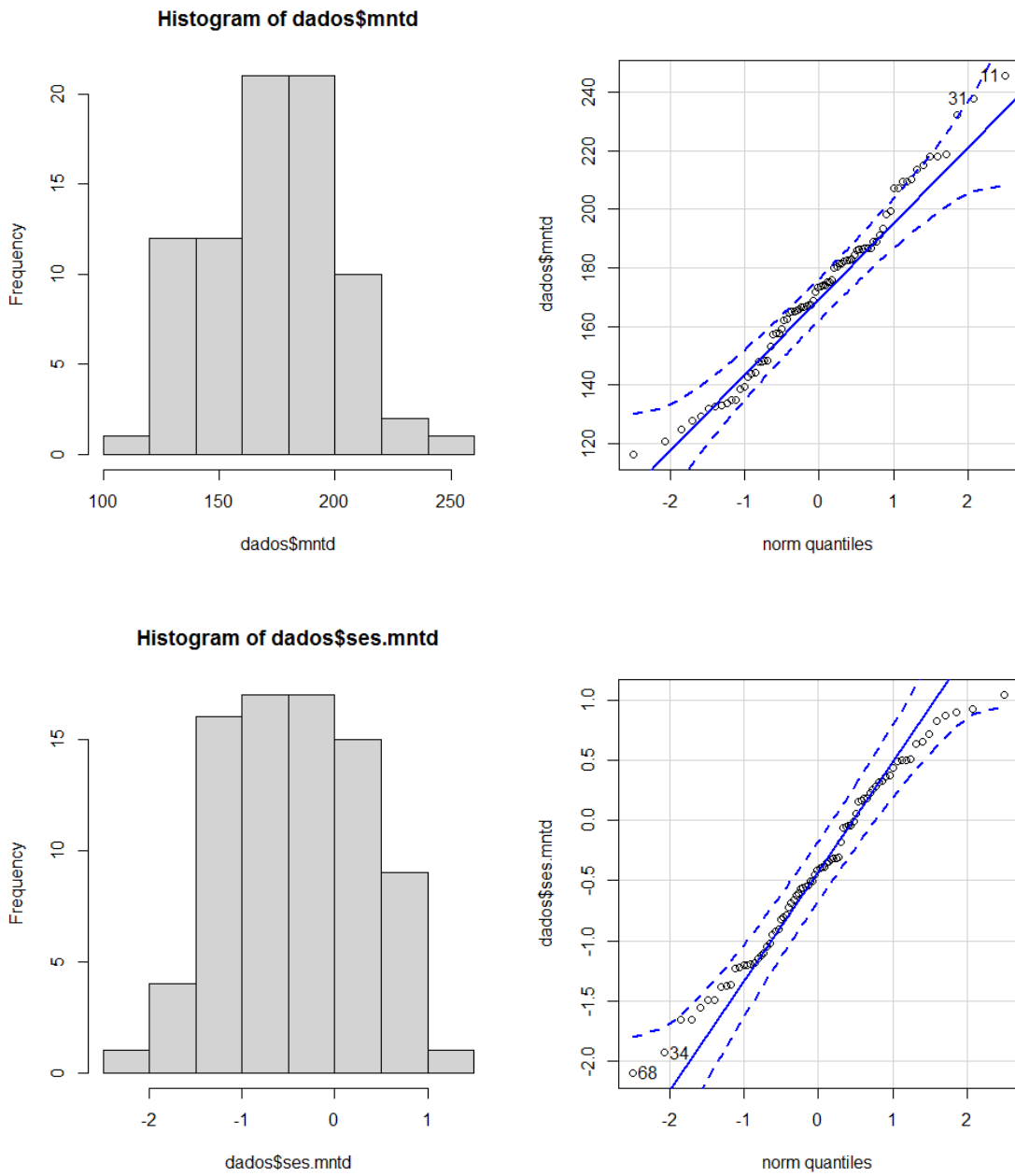
Fonte: Martins (2021).

Figura S. 2. Teste de normalidade de Shapiro-Wilk: histograma e diagrama Q-Q das análises de mpd e ses.mpd.



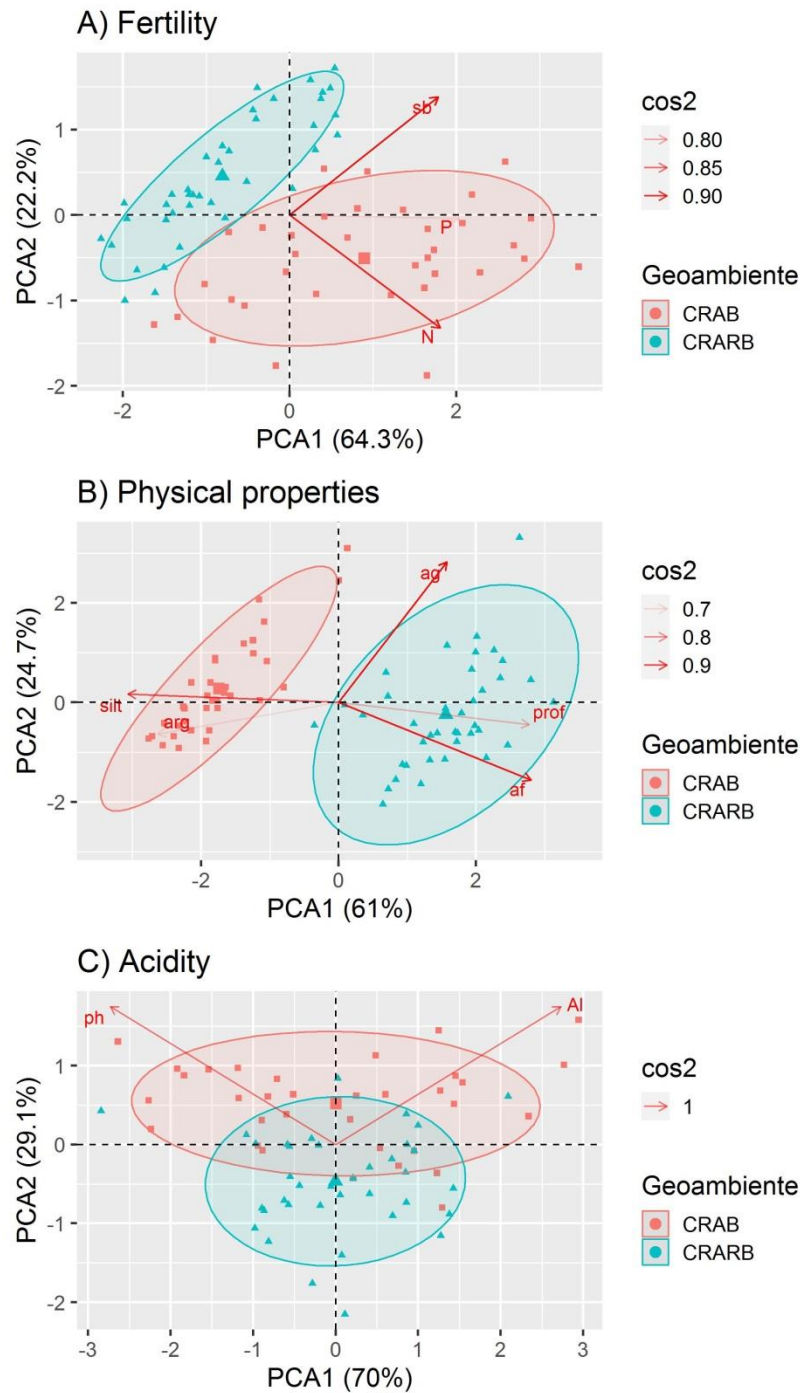
Fonte: Martins (2021).

Figura S. 3. Teste de normalidade de Shapiro-Wilk: histograma e diagrama Q-Q para análises mntd e ses.mntd.



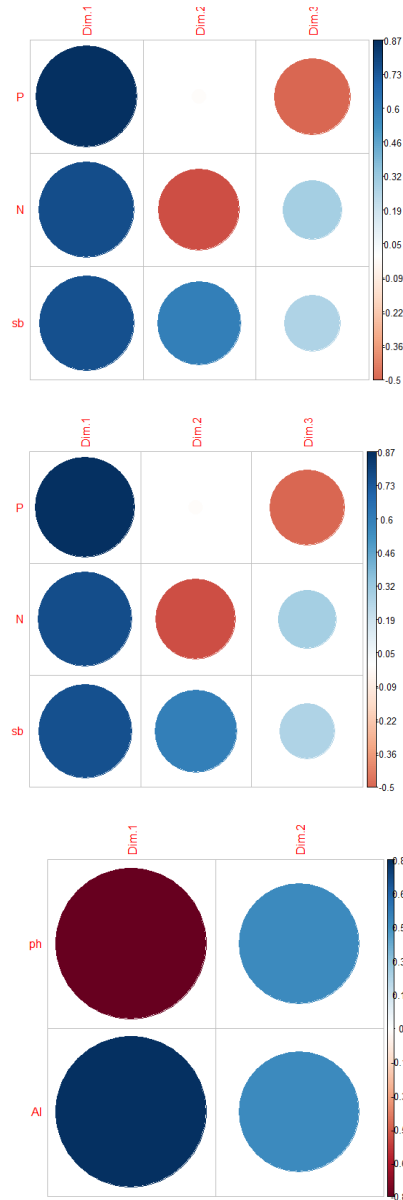
Fonte: Martins (2021).

Figura S. 4. Figura S 4. Análise dos Componentes Principais (PCA) com base nas propriedades físicas, de fertilidade e acidez amostradas nas 80 parcelas alocadas no Complexo Rupestre situado na Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais, Brasil. Onde, af= areia fina; ag= areia grossa; silt= silte; arg= argila; prof= profundidade; pH = potencial hidrogeniônico; Al = alumínio; N = nitrogênio; P = fósforo; Sb = soma de bases trocáveis. Cos2 significa a contribuição relativa das variáveis representadas pelos vetores.



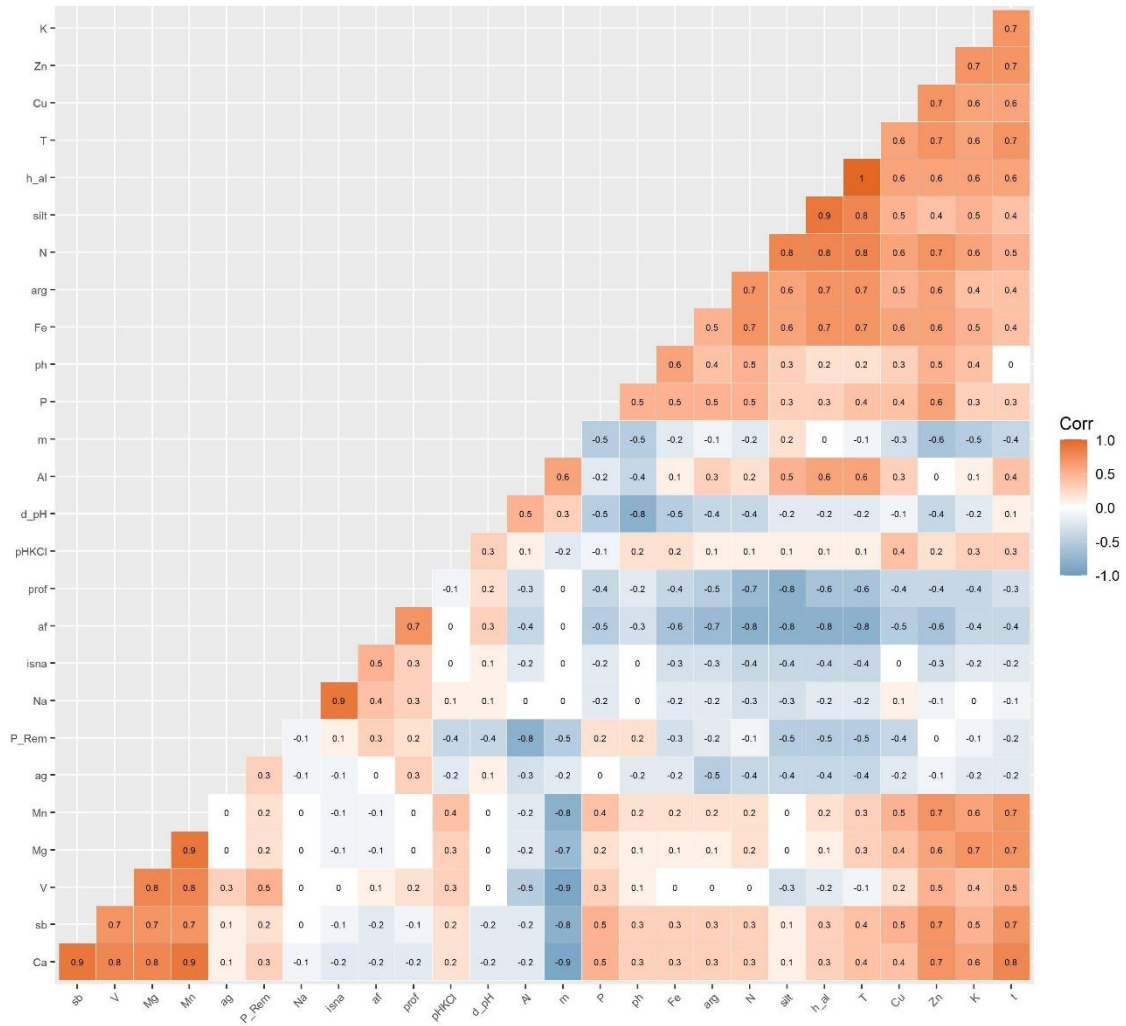
Fonte: Martins (2021).

Figura S. 5. Níveis de significância baseados nos coeficientes de correlação de Spearman entre os parâmetros do solo e os componentes principais de fertilidade da PCA das 80 parcelas alocadas na Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais, Brasil. Para análise disponíveis: potencial hidrogeniônico (pH), alumínio (Al), nitrogênio (N), fósforo (P) e soma de bases trocáveis (Sb).



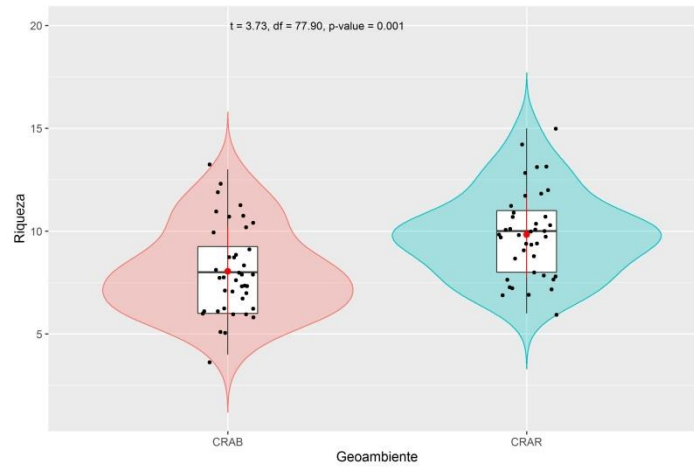
Fonte: Martins (2021).

Figura S. 6. Correlação de Pearson entre todas as variáveis individuais medidas em 80 parcelas dos dois geoambientes amostrados na Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais, Brasil. Onde, af= areia fina; ag= areia grossa; silt= silte; arg= argila; prof = profundidade; N = nitrogênio; pH = potencial hidrogeniônico; P = fósforo disponível; K = potássio; Na = sódio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; h_al = acidez potencial; Sb = soma das bases; t = capacidade efetiva de troca catiônica; T = capacidade de troca catiônica em pH 7,0; V = índice de saturação de base; m = índice de saturação de alumínio; ISNa = índice de saturação de sódio; P-rem = fósforo remanescente; Zn = zinco; Fe = ferro; Mn = manganês; Cu = cobre.



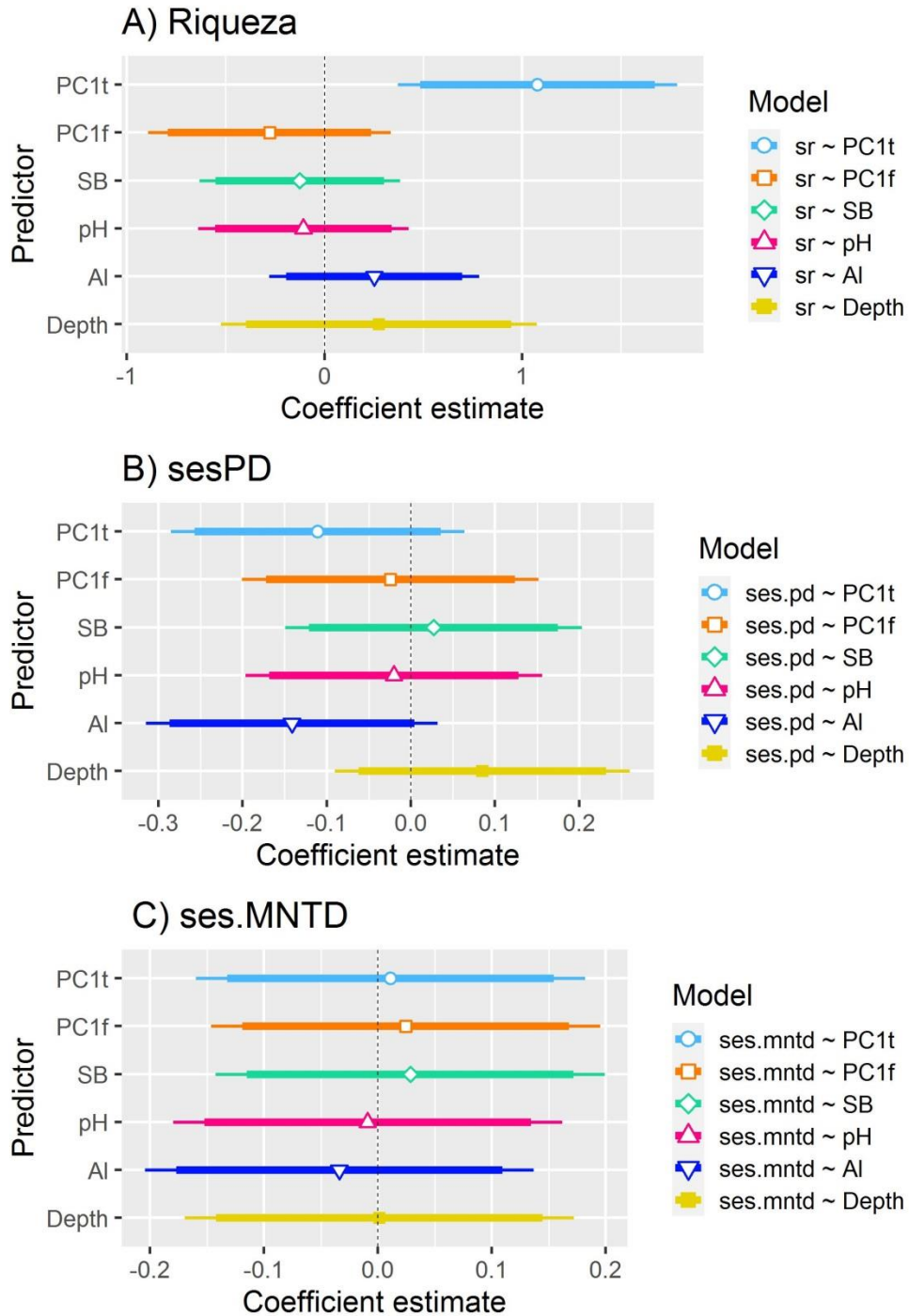
Fonte: Martins (2021).

Figura S. 7. Variação na riqueza entre os dois geoambientes amostrados na Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais. Campo Rupestre Aberto (CRAB; rosa) e Campo Rupestre Arbustivo (CRAR; azul).



Fonte: Martins (2021).

Figura S. 8. Modelos com efeitos significativos dos preditores sobre (A) riqueza, (B) tamanho de efeito padronizado de PD (ses.PD), e (C) o tamanho do efeito padronizado da distância média do táxon mais próximo (ses.MNTD). Onde, PC1f: variabilidade da fertilidade do solo relacionada ao conteúdo de nutrientes; PC1t: variabilidade das propriedades físicas da textura do solo; SB: soma das bases; pH: potencial hidrogeniônico; Al: alumínio; e Depth: profundidade. Testados para a Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Martins (2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os Complexos Rupestres Ferruginosos (CRFs) exibem suas exuberantes paisagens em mosaicos vegetacionais altamente endêmicos sobre solos oligotróficos, ácidos e extremamente lixiviados. No CRF isolado da Fazenda Volta da Tropa, Morro do Pilar, Minas Gerais (situado na borda leste do Espinhaço Meridional) encontramos padrões que distinguem as vegetações ocorrentes nos Campo Rupestre Aberto (CRAB) e nos Campo Rupestre Arbustivo (CRAR), dado que é inédito para a região. A composição das comunidades vegetais nesses dois geoambientes exibiram dissimilaridades na riqueza e cobertura das espécies, que foram explicadas, principalmente, pela textura e profundidade do solo. O geoambiente CRAB apresentou menores riqueza e cobertura de espécies, e seu solo foi mais relacionado com concentrações biodisponíveis, matéria orgânica, areia grossa, argila e silte. Já o geoambiente CRAR apresentou maiores riqueza e cobertura, e seu solo foi relacionado com profundidade e areia fina. Mesmo com a proximidade em escala espacial pequena entre os geoambientes e o compartilhamento de algumas espécies, este estudo comprovou que o CRF em questão manteve o caráter de mosaico heterogêneo. Em comparação a outros trabalhos, a diversidade alfa de ambos geoambientes demonstraram semelhança em Complexos Rupestres sobre outras litologias (e.g. granito/gnaiss e quartzo).

A Diversidade Filogenética revelou que a estruturação das comunidades dos geoambientes são diferentes, onde, as métricas que obtiveram êxodo significativo nessa separação foram PD, MPD e ses.MPD. Houve agrupamento filogenético em CRAB e estrutura aleatória em CRAR. Possíveis conjecturas para essas estruturações foram propostas em algumas hipóteses presentes na recente Teoria OCBIL, como as hipóteses das oscilações climáticas do Quaternário, do *'Ultimate Self'* e da Herança Gondwana. A relação das variáveis do solo com a estrutura filogenética não revelou grande influência sobre as variações de riqueza e diversidade florística e fitofisionômica. A variação de ses.MPD foi explicada pelos efeitos negativos de Al e PC1t e, em uma escala fina, a textura do solo determinou a diferença na diversidade filogenética e na estrutura da comunidade registrada para CRAB e CRAR. Com isso, a análise da Diversidade Filogenética para averiguar a heterogeneidade de dois geoambientes próximos, em escala espacial pequena, corroborou com a importância da textura do solo para delimitar as comunidades em CRFs.

Com toda a singularidade cientificamente comprovada neste trabalho, é importante frisar que os CRFs são extremamente fragilizados pelas modificações antrópicas, pondo em

vulnerabilidade a existência e manutenção dessas antigas formações que, abrigam uma gama endêmica de espécies florísticas, com suas mais complexas interações modulantes presentes em cada comunidade geoambiental. Este trabalho reforça que, a generalização da vegetação ocorrente em diferentes gradientes geoambientais dos CRFs, pode gerar resultados tendenciosos. A correlação de estudos fitossociológicos, edáficos e filogenéticos mostraram-se eficientes para inferir os aspectos envolvidos na dinâmica variação vegetacional em dois geoambientes próximos em CRF isolado.