



Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Biológicas
Departamento de Biodiversidade, Evolução e Meio Ambiente
Laboratório de Ecofisiologia Vegetal



Estudo da florística nos campos ferruginosos sob influência de espécies acumuladoras e não acumuladoras de Al

Monografia apresentada ao Departamento de Biodiversidade, Evolução e Meio Ambiente do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Aluna: Bruna Vitor Tavares

Orientadora: Alessandra Rodrigues Kozovits

Co-orientadoras: Maria Cristina Teixeira Braga Messias e Lina M. Urriago-Ospina

OURO PRETO

2018

T197e Tavares, Bruna Vitor.
Estudo da florística nos campos ferruginosos sob influência de espécies acumuladoras e não acumuladoras de Al [manuscrito] / Bruna Vitor Tavares. - 2018.

47f.: il.: color; graf.; tabs; mapas.

Orientadora: Prof. Dr. Alessandra Rodrigues Kozovits.
Coorientadora: Prof. Dr. Maria Cristina Teixeira Braga Messias.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. Departamento de Biodiversidade, Evolução e Meio Ambiente.

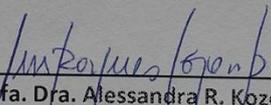
1. Comunidades vegetais. 2. Metais - Bioacumulação. I. Kozovits, Alessandra Rodrigues. II. Messias, Maria Cristina Teixeira Braga. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br CDU: 631.46

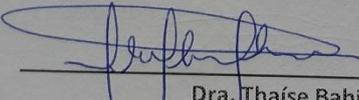
 <p>UFOP Universidade Federal de Ouro Preto</p>	<p align="center">UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO DEPARTAMENTO DE BIODIVERSIDADE, EVOLUÇÃO E MEIO AMBIENTE Campus Morro do Cruzeiro – ICEB – CEP – 35.400-000 Fone: (031) 3559-1747 E-mail: debio@iceb.ufop.br Web: www.iceb.ufop.br/debio</p>	 <p>DEBIO Departamento de Biodiversidade, Evolução e Meio Ambiente</p>
---	---	--

Ata da sessão pública para julgamento da Monografia de Bruna Vitor Tavares, Curso de Bacharelado Ciências Biológicas, DEBIO/ICEB/UFOP

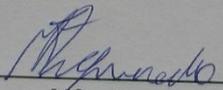
Aos dezoito dias do mês de dezembro de 2018, às 14h, no Laboratório de Aulas Práticas da Botânica, reuniu-se a Comissão Julgadora composta pela Dra Thaise Bahia, MSc. Maurílio Assis Figueiredo e Dra. Alessandra Rodrigues Kozovits para a avaliação da monografia da aluna Bruna Vitor Tavares na área de Biologia, intitulada “Padrões de agregação de plantas sob a influência de espécies acumuladoras e não acumuladoras de Al em campos ferruginosos”. A sessão pública foi aberta pela Profa. Dra. Alessandra Rodrigues Kozovits, presidente da Comissão Julgadora e orientadora, que após formalidades de praxe, passou a palavra à aluna para a apresentação oral e, a seguir, iniciou o período de argüição pelos membros da banca. Terminada a argüição, a Comissão reuniu-se em sessão secreta para elaborar o relatório individual de apreciação da Monografia e decidiu pela APROVAÇÃO da aluna com nota 8,5. Nada havendo mais a tratar, foi encerrada a sessão da qual lavrou-se a presente ata que vai assinada pela Comissão Julgadora. Ouro Preto, 18 de dezembro de 2018.



 Profa. Dra. Alessandra R. Kozovits
 Universidade Federal de Ouro Preto
 Presidente



 Dra. Thaise Bahia
 Universidade Federal de Ouro Preto



 MSc. Maurílio Assis Figueiredo
 Universidade Federal de Ouro Preto

“A vida é uma tempestade, meu amigo. Um dia você está tomando sol e no dia seguinte o mar te lança contra as rochas. O que faz de você um homem é o que você faz quando a tempestade vem. “– O Conde de Monte Cristo

Agradecimentos

Primeiramente agradeço à Deus (em suas mais diversas formas, porque acredito no respeito e valorização de todas suas manifestações), Nossa Senhora Aparecida e finalmente aos meus pais sem os quais não estaria aqui perseverando a todos esses anos aprendendo a ser forte a cada topada da vida.

Agradeço à UFOP pela segunda oportunidade de graduação, já sou formada em Licenciatura, agora podendo me formar em Bacharelado no mesmo curso de Ciências Biológicas.

À FAPEMIG pela oportunidade de bolsa através do programa PROBIC da Universidade Federal de Ouro Preto.

Ao Laboratório de Ecofisiologia Vegetal, Antonella Schettini e minha orientadora Alessandra Kozovits que me acolheram quando bati a porta pedindo uma oportunidade, e no qual tive inúmeras ajudas dos demais membros para concluir o caminho até aqui. A colaboração e ajuda também do Herbário “Professor José Badini” (OUPR), juntamente à toda sua equipe e aos que me ensinaram antes desta pesquisa como descobrir ainda mais a botânica: Vivi, João e Jorge, e a minha co-orientadora nesta pesquisa Maria Cristina Messias.

Agradeço muito ao Jorjão (querido por todos nós pra sempre) aonde quer que ele esteja, pelos ensinamentos nos campos, por me ensinar a descascar laranja com o facão, e por fazer cada lugar marcante e me ensinar o lado bom da vida, de sorrir mesmo cansado. Você faz muita falta.

Meu tio Ivalder, meu segundo pai, que mesmo observando quieto de canto sempre me ajudou, aconselhou e colaborou para que eu seja a pessoa que vocês podem ver hoje. Ao Helder, namorado e companheiro de vida, que sempre acreditou em mim e fez de tudo para me animar e ajudar, mesmo sendo engenheiro de controle e automação. À Vicky que mesmo longe em todos esses anos foi uma das que mais me ouviu, aconselhou, uma amiga e segunda mãe, minha irmã de coração. À Lina que acreditou

em mim e estendeu a mão quando tudo parecia perdido, me deu forças para levantar me fazendo acreditar novamente em mim e que me ensinou novamente o significado de perseverar e não desistir de progredir. Ao Diego que me ajudou em campo super solícito, me aconselhou sobre a cor vermelha de fitas e em pleno carnaval com estatísticas. E também ao Maurílio que tanto me ajudou nas estatísticas mesmo estando apertado com os próprios prazos e teve a paciência de sentar comigo para buscar entender meus dados e decidir o que fazer no Minitab. Também ao sensei Mauro Schettino por me ajudar na caminhada da parte de licencianda, os conselhos e conversas, e principalmente valores e lições que levarei por toda vida. Ao Walfran e a Dona Francisquinha pelo apoio, orações e amizade.

Aos motoristas da UFOP pelas inúmeras idas ao campo, pela gentileza e educação, principalmente ao Sapo (Vicente Geraldo Fernandes Vieira) o qual fazia cada campo ser ainda melhor com sua presença e bom humor. Ao pessoal do Laboratório de Geoquímica pela imensa ajuda Adriana, Léo e especialmente o Celsinho (Antônio Celso Torres) com sua generosidade, boa vontade, que me viu literalmente crescer e ainda me guiou com todo seu cuidado nos procedimentos me ajudando a cumprir as metas.

Finalmente agradeço de coração a TODOS, TODAS e TODXS que passaram por minha vida, me ajudaram e sabem que tem seu pedacinho de contribuição para que eu chegasse até aqui.

Sumário

1. Introdução.....	13
2. Revisão da Literatura.....	14
2.1 Campos Ferruginosos	14
2.1.1. Ecossistema	14
2.1.2. Solo e vegetação	15
2.1.3 Importância.....	16
2.1.4 Ameaças	17
2.2 Restauração Ecológica e Recuperação de Áreas Degradadas	17
2.2.1 Recuperação em Campos Ferruginosos (CF's)	18
2.3 Estratégias de adaptação aos campos ferruginosos: plantas acumuladoras e não acumuladoras de Al	19
3. Objetivos.....	20
3.1. Objetivos Gerais.....	20
4. Materiais e Métodos	20
4.1. Área de Estudo	20
4.2. Escolha das espécies e indivíduos	21
4.3. Arquitetura da copa.....	24
4.4. Parâmetros Fitosociológicos	25
4.5. Análises de solo.....	27
4.6. Análises químicas de rotina (Fertilidade)	27
4.7. Análise Geoquímica dos solos	28
4.8. Análises estatísticas	29
5. Resultados	30
6. Discussão.....	37
7. Conclusão.....	39
8. Referências Bibliográficas.....	40

Lista de Figuras

Figura 1 - Local de estudo (em amarelo) no Parque Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, MG.	21
Figura 2 - Plantas não-acumuladoras estudadas. A-B <i>Matayba marginata</i> C-D) <i>Senna reniformis</i> E) <i>Periandra mediterranea</i> F) Arbusto de <i>Periandra mediterranea</i> demarcado para o estudo.	23
Figura 3 – Plantas acumuladoras de Al A) <i>Leandra australis</i> . B) <i>Miconia corallina</i> . C) <i>Pleroma heteromallum</i> (= <i>Tibouchina heteromalla</i>). Fonte: (Schettini, 2015)	24
Figura 4 - Medição da altura de um indivíduo de <i>S. reniformis</i> por meio de trena. Fonte: Schettini, 2015.	25
Figura 5 - Exemplo da demarcação da área de amostragem da comunidade vegetal ao redor do indivíduo, usando um círculo de mangueira com raio de 80cm	26
Figura 6 – Riqueza de espécies no entorno das espécies nucleadoras acumuladoras e não-acumuladoras, em um campo ferruginoso situado no Parque Natural Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste de Tuckey.	31
Figura 7 – Abundância de indivíduos ao entorno das nucleadoras acumuladoras e não acumuladoras, em um campo ferruginoso situado no Parque Natural Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste de Tuckey.	32
Figura 8 – [Zn] e [Mn] totais médias no solo ao redor das espécies nucleadoras acumuladoras e não-acumuladoras de Al, em um campo ferruginoso situado no Parque Natural Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste de Tuckey.....	35
Figura 9 – [Fe] e [Al] totais médias no solo ao redor das espécies nucleadoras acumuladoras e não-acumuladoras de Al, em um campo ferruginoso situado no Parque Natural Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste de Tuckey.....	35
Figura 10 – [K] e [Ca] totais médias no solo ao redor das espécies nucleadoras acumuladoras e não-acumuladoras de Al, em um campo ferruginoso situado no Parque Natural Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste de Tuckey.....	36
Figura 11 – [Mg] e [P] totais médias no solo ao redor das espécies nucleadoras acumuladoras e não-acumuladoras de Al, em eum campo ferruginoso situado no Parque Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais. Letras diferentes indicam diferenças significativas a ($p < 0,05$) pelo teste de Tuckey.	36

Lista de Tabelas

Tabela 1. Riqueza de espécies (média por indivíduos) e densidade (indivíduos/m ²) ao redor dos indivíduos de espécies acumuladoras e não acumuladoras de Al, em um levantamento em campo ferruginoso situado não Parque Natural Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais.....	30
Tabela 2. n° das espécies ocorrentes no entorno de indivíduos, em um levantamento feito em um campo ferruginoso situado no Parque Natural Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais.	31
Tabela 3. Abundância de indivíduos (n°) das espécies exclusivas do entorno de indivíduos nucleadores não-acumuladores de Al e espécies exclusivas do entorno de indivíduos nucleadores acumuladores de Al, em um levantamento feito em um campo ferruginoso situado no Parque Natural Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais.....	33
Tabela 4. Tamanho médio de copa (Ci) (m ²) das espécies analisadas como nucleadoras, em um levantamento feito em um campo ferruginoso situado no Parque Natural Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais.....	34
Tabela 5. Análise de índices de fertilidade (média) das espécies não-acumuladoras de Al em comparação com a área de campo ferruginoso e uma área degradada deste campo em um levantamento feito no Parque Natural Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais.	36

Resumo

A recuperação de áreas degradadas (RAD) pela mineração de ferro exige o conhecimento da tolerância de plantas às condições físicas e químicas dos substratos pós-mineração (incluindo rejeitos) e da capacidade de fitoextração de metais potencialmente tóxicos ao meio ambiente. Entretanto, se o objetivo do projeto de RAD for a restauração ambiental, a capacidade de nucleação ou facilitação de espécies alvo deve também ser levada em consideração. O potencial de acumulação de metais assim como o papel de espécies acumuladoras de metais na estruturação da comunidade vegetal dos campos ferruginosos ainda são pouco conhecidos. Este trabalho avaliou a capacidade de alterar propriedades químicas dos solos e, conseqüentemente, de alterar a comunidade de espécies ao redor de seis espécies nativas e dominantes nos campos ferruginosos, de dois grupos funcionais (acumuladoras e não acumuladoras de alumínio). Três espécies de Melastomataceae representam o grupo das nucleadoras acumuladoras de Al (*Leandra australis* (Cham.) Cogn., *Miconia corallina* Spring e *Pleroma heteromallum* (D.Don.) D. Don). O grupo das não acumuladoras de Al foi composto por *Matayba marginata* Radlk (Sapindaceae), *Senna reniformis* (G.Don) H.S. Irwin & Barneby e *Periandra mediterranea* (Vell.) Taub (Fabaceae). A abundância e a riqueza de plantas jovens que ocorrem ao redor de dez indivíduos de cada espécie nucleadora foram avaliadas. Foram encontradas 58 espécies ao redor das plantas avaliadas na área, sendo 28 delas exclusivas no entorno das não-acumuladoras e 11 das acumuladoras de Al. Dentre as espécies de comum ocorrência ao redor dos dois grupos funcionais, as de maior abundância no entorno das acumuladoras de Al foram, em ordem decrescente, *Periandra mediterranea* (Vell.) Taub., *Dyckia rariflora* Schult. & Schult.f., *Nematanthus strigillosus* (Mart.) H.E. Moore e *Psyllocarpus laricoides* Mart. ex Mart. & Zucc., enquanto no entorno das não-acumuladoras de Al foram *Dyckia rariflora* Schult. & Schult.f., *Periandra mediterranea* (Vell.) Taub. e *Pleroma heteromallum* D. Don. (D.Don). A área da copa da planta nucleadora não foi variável explicadora da riqueza e abundância de indivíduos recrutados no seu entorno. O grupo das não-acumuladoras apresentou maior riqueza de espécies e abundância de indivíduos recrutados. Os resultados sugerem que projetos de restauração ecológica de campos ferruginosos devem levar em consideração o plantio de espécies pertencentes aos dois grupos funcionais de plantas (acumuladoras e não-acumuladoras de Al) para

proporcionar ao ambiente as diferentes oportunidades de nucleação exercidas pelos dois grupos de plantas e, desta forma, garantir maior riqueza e abundância de regenerantes na área.

Abstract

The recovery of degraded areas (RDA) by iron mining requires knowledge of plants tolerance to the physical and chemical conditions of post-mining substrates (including tailings) and their phytoextraction capability of potentially toxic metals to the environment. However, if the objective of the RDA project is environmental recovery, the nucleation or facilitation ability of target species should also be taken into account. The potential for accumulation of metals as well as the role of metal accumulating species in structuring the plant community of the ferruginous fields are still poorly understood. This work (study) evaluated the ability of six native and dominant species in the ferruginous fields, of two functional groups (accumulating and non - accumulating aluminum), of altering the chemical properties of soils and, consequently, changing the community of species around them. Three species of Melastomataceae represent the group of Al accumulating nuclei (*Leandra australis* (Cham.) Cogn., *Miconia corallina* Spring and *Pleroma heteromallum* (D.Don.) D. Don). The group of non-accumulators of Al was composed by *Matayba marginata* Radlk (Sapindaceae), *Senna reniformis* (G.Don) HS Irwin & Barneby and *Periandra mediterranea* (Vell.) Taub (Fabaceae). The abundance and richness of young plants that take place around ten individuals of each nucleating species were evaluated. 58 species were found around the evaluated plants, of which 28 are exclusively in the surroundings of the non-accumulators and 11 of the accumulators of Al. Among the species of common occurrence around the two functional groups, those of greater abundance around the Al accumulators were, in descending order, *Periandra mediterranea* (Vell.) Taub., *Dyckia rariflora* Schult. & Schult.f., *Nematanthus strigillosus* (Mart.) HE Moore and *Psyllocarpus laricoides* Mart. ex Mart. & Zucc. While in the surroundings of the non-accumulators of Al were *Dyckia rariflora* Schult. & Schult.f., *Periandra mediterranea* (Vell.) Taub. and *Pleromaheteromallum* D. Don. (D.Don). The canopy area of the nucleating plant was not a variable that explained the abundance of individuals recruited in their environment. The group of non-accumulators presented greater species richness and abundance of individuals recruited. The results suggest that ecological recovery projects of ferruginous fields should take into account the planting of species that belong to the two functional groups of plants (accumulating and non-accumulating Al) to provide to the environment different opportunities of nucleation exerted by the two groups of plants and, therefore, ensure greater wealth and abundance of recolonisers in the area.

1. Introdução

A restauração ecológica tem como objetivo final a devolução da estrutura, da diversidade e das funcionalidades do ecossistema que originalmente ocupava a região antes do distúrbio que provocou a sua degradação (Jackson *et al.* 1995, Higgs 1997). A realização de tal feito, entretanto, muitas vezes não é alcançada em um período de tempo de vida do observador, devido à complexidade das interações dos fatores envolvidos e ao tempo necessário para que todas as funcionalidades reestabeleçam.

O processo de restauração e, na verdade, de qualquer tentativa inicial de reestabelecimento de cobertura vegetal, pode ser especialmente dificultado se o distúrbio tiver provocado a perda das camadas orgânicas do solo, como tipicamente ocorre nas áreas pós-mineração de Fe e Al (Ataide *et al.* 2011). Outro fator ainda restritivo da restauração dos sistemas que naturalmente ocorrem sobre áreas ricas em Fe e Al no Brasil e em todo o mundo, é o limitado conhecimento sobre a biologia e relações ecológicas das espécies vegetais nativas desses ecossistemas. Espécies pertencentes à grupos funcionais distintos de uso dos recursos do solo, por exemplo, poderiam alterar as condições edáficas (e microclimáticas) de maneira a criar diferentes oportunidades de recrutamento e nucleação. Isso facilitaria o estabelecimento de grupos de espécies distintos e, neste caso, proporcionando aumento da riqueza, da funcionalidade e da complexidade no ambiente? No Brasil, por exemplo, muito pouco é sabido sobre o potencial de germinação de sementes e estabelecimento de plântulas das espécies nativas dos campos ferruginosos. Quais espécies apresentariam melhores resultados como facilitadoras do estabelecimento da mesma ou de outras espécies ao seu redor, criando núcleos de vegetação em áreas degradadas pela mineração?

Estudo realizado por Schettini (2015) em uma área de campo ferruginoso em Ouro Preto, Minas Gerais, revelou que espécies de Melastomataceae com diferentes capacidades de acumular Al em suas folhas possuem também diferentes comunidades de plantas ao seu redor, tanto em termo de abundância quanto em riqueza de espécies. O presente estudo objetivou-se a ampliar tal análise de possíveis interações entre espécies ao incluir resultados de abundância e riqueza de plantas presentes no entorno de três espécies não-acumuladoras de Al co-ocorrentes no local de estudo de Schettini *et al.* 2018.

2. Revisão da Literatura

2.1 Campos Ferruginosos

Os campos rupestres ferruginosos, também conhecidos como áreas de cangas, estão concentrados no Quadrilátero Ferrífero, ocorrendo também no Pará e no Mato Grosso do Sul em áreas associadas a ricos depósitos de minério de ferro e alumínio, o que gera grande pressão de exploração econômica e alta demanda por processos ambientais de licenciamento para pesquisa, concessões minerárias e exploração das reservas (Jacobi *et al.*, 2011).

Cangas são formações resultantes do intemperismo de rochas ferríferas e seu enriquecimento ao longo do tempo, o que resulta em couraças superficiais porosas que podem variar em espessura. Este tipo de ambiente é comum em regiões montanhosas formando mosaicos com os campos rupestres de outras litologias (Carmo & Jacobi, 2013).

Segundo Carmo & Jacobi (2013), diversas denominações foram designadas para as formações vegetais ocorrentes sobre as cangas ao longo do tempo, dentre elas, citam-se Rizzini (1997) com o termo campos ferruginosos, Porto & Silva (1989) com savana metalófito, vegetação metalófito por Silva (1992), campos rupestres ferruginosos com Mourão & Stehmann (2007) e Viana & Lombardi (2007) e finalmente vegetação de bancada laterítica por Silva & Tozzi (2011). No presente trabalho optou-se pela denominação de campos ferruginosos.

2.1.1. Ecossistema

Em altitudes superiores à 900m, onde predominam os campos ferruginosos e outros tipos de campos rupestres em Minas Gerais, diferentes formações vegetacionais podem co-ocorrer em resposta à variação topográfica e aos fatores relacionados ao solo, clima e microclima, como disponibilidade de água, profundidade de solo, matéria orgânica, fertilidade, acidez e disponibilidade de metais no solo, inclusive do Al. Em uma mesma região de campos ferruginosos, a variação desses fatores influenciam diretamente a composição e fisionomia da vegetação e provocam alto endemismo da flora e fauna (Vasconcelos 2014).

Além das cangas (itabiritos, bauxita), nas regiões montanhosas do Quadrilátero Ferrífero (QF), em Minas Gerais, outras litologias também são observadas,

principalmente os quartzitos, dentre outras, como xistos, filitos e arenitos, adicionando mais um fator de complexidade a estes ecossistemas montanos (Messias *et al.* 2012). Os autores verificaram que diferenças nas formas de relevo levam à formação de micro-habitats que comportam, por consequência, composições florísticas e formas de vida distintas nos campos rupestres ferruginosos e quartzíticos. Sobre os xistos, solos mais profundos se desenvolvem, onde ocorrem formações florestais (Ferreira MTM, 2011). Estes fatores fazem das regiões montanhosas do QF uma região de alta diversidade alfa e beta, passível de apelos únicos para conservação. Entretanto, estudos ecológicos dessas comunidades vegetais ainda são poucos divulgados, porém são fundamentais para a elaboração de estratégias de conservação e restauração dessas áreas que são altamente vulneráveis devido principalmente à exploração de suas reservas metalíferas (Jacobi *et al.*, 2011).

2.1.2. Solo e vegetação

De acordo com Rizzini (1997) as cangas, mesmo pertencendo a mesma origem geológica, podem ser classificadas como couraçadas ou nodulares. Desta forma, elas apresentam diferentes propriedades devido aos diferentes tipos de intemperismo aos quais foram submetidas. As cangas couraçadas apresentam uma couraça resistente e contínua, enquanto que as cangas nodulares constituem substrato fragmentado, que embora seja também duro e resistente, permite uma maior penetração das raízes.

De forma geral, os solos dos campos ferruginosos apresentam um cenário edáfico restritivo, tanto nos aspectos físicos como químicos, para o estabelecimento de sistemas de alta produtividade. Seus solos são rasos, com baixa capacidade de retenção e de água, além de serem ácidos, com baixa disponibilidade de macronutrientes essenciais como N, P e K, no entanto, apresentam níveis razoáveis a elevados de Ca. E ainda, apresentam altos teores de metais, incluindo os micronutrientes Fe, Zn, Mn e Cu entre outros metais pesados (p.ex. Pb) e leves (Al) (Schaefer *et al.*, 2008; Vincent & Meguro, 2008). Em decorrência dessas condições, nos campos ferruginosos observa-se uma predominância de arbustos, subarbustos e herbáceas e, por vezes, observa-se nanismo nas espécies arbóreas. O nanismo tem sido relatado como consequência do acúmulo de metais pesados (Barcelo *et al.* 2004). De fato, espera-se que grande parte da flora dos campos ferruginosos apresente algum nível de acumulação de metais tais como Fe, Mn e Al (Arias-Jimenez 2016, Schettini *et al.* 2018). A proporção das duas

estratégias de tolerância à solos ricos em metais, a de acumular e a de excluir os metais, ainda não é conhecida nas comunidades vegetais sobre campos ferruginosos (Arias-Jimenez, 2016).

Plantas nativas metalófitas poderiam ser preferencialmente usadas para a recuperação de áreas de campos ferruginosos degradados pela mineração. Frequentemente, projetos de recuperação tem empregado plantas exóticas, as quais ameaçam a diversidade do ambiente e não recuperam de forma efetiva as funções ecossistêmicas (Jacobi & Carmo, 2008)

2.1.3 Importância

As cangas servem de canal de recarga de aquíferos, uma vez que permitem a passagem da água por seus poros, fendas e todo seu terreno acidentado que funcionam como coletores da água da chuva das regiões montanhosas. São serviços ecológicos vitais, não apenas para toda a sua biodiversidade, mas como também para a população humana em geral (Carmo *et al.*, 2012). Além da função de recarga hídrica, há também o valor paisagístico, a regulação e filtragem da vazão de cabeceiras de surgências nos ambientes de altitude, além de outros serviços ecológicos, como a fixação de carbono no solo, sendo mais eficientes neste ponto quando comparadas a áreas de florestas que fixam o carbono no substrato vegetal ao invés do solo (Vasconcelos, 2014). Devido a todos estes fatores, estas áreas são de extrema importância para conservação da biodiversidade brasileira, trazendo benefícios não somente ao meio-ambiente, mas também ao conjunto populacional que dele depende (Drummond, 2005).

Os ecossistemas de altitude, ou montanos, estão cada vez mais susceptíveis ao domínio por espécies invasoras e à perda de habitat. A correta detecção e localização de plantas adaptadas à ambientes metalíferos é importante tanto para a restauração de jazidas já mineradas, bem como para o entendimento desses ecossistemas ímpares (Silva, 1992). As ameaças vêm se agravando devido às mudanças climáticas, poluição, invasão e degradação de ambientes naturais seja pelo turismo, agricultura e pecuária, expansão urbana e principalmente devido à exploração mineral (Fernandes *et al.*, 2015). Todas essas questões evidenciam a necessidade de mais estudos e esforços na compreensão do funcionamento desse ecossistema, e de conservação das áreas remanescentes (Jacobi *et al.*, 2011). Além disso, a conservação dos campos rupestres

garante não só o funcionamento de serviços ecológicos, mas também a manutenção do patrimônio cultural e natural para as próximas gerações (Carmo *et al.*, 2012).

2.1.4 Ameaças

O Brasil possui 11,9% das reservas lavráveis de minério de ferro mundial, sendo atualmente o terceiro maior produtor desse minério (IBRAM 2015; DNPM 2015). Minas Gerais, mais especificamente a região conhecida como Quadrilátero Ferrífero (QF), é responsável por 72,5% da produção nacional, seguido por Mato Grosso do Sul (13,1%) e Pará (10,7%). Paralelamente aos evidentes benefícios econômicos oriundos da mineração de ferro, tal atividade inevitavelmente provoca a degradação de extensas áreas de vegetação nativa ocorrente sobre as jazidas de ferro, gerando perda de diversidade biológica (Carmo & Jacobi 2013) e alterando teores de elementos do solo, da atmosfera e dos corpos d'água com elementos potencialmente tóxicos para toda a biota, inclusive as populações humanas (Trindade *et al.*, 2012).

O cenário atual aponta para um aumento na exploração minerária destas áreas que constituem um dos sistemas menos conhecidos e menos representados dentro do sistema nacional de unidades de conservação de proteção integral (Jacobi *et al.*, 2011; Carmo *et al.*, 2012, Carmo & Jacobi, 2013).

2.2 Restauração Ecológica e Recuperação de Áreas Degradadas

A legislação ambiental brasileira exige que as áreas pós-mineradas de ferro sejam reabilitadas de maneira a minimizar seu potencial de contaminação de acordo com a Lei Nº 6.938/81. Por meio do Decreto nº 97.632 de 1989 foi estabelecida a obrigatoriedade de um plano prévio para recuperação e áreas degradadas, sendo apontado o uso preferencial de espécies nativas (Resolução CONAMA Nº 369/2006, que só abrange as áreas de preservação permanente). Por fim, a Portaria nº 237 de 18 de outubro de 2001 regula sobre as NRM's (Normas Reguladoras de Mineração), sendo que a NRM21 dispõe sobre a Reabilitação de Áreas Pesquisadas, Mineradas e Impactadas.

Em geral, preconiza-se que as áreas degradadas sejam recobertas com vegetação, preferencialmente nativa da região. Tal vegetação, adaptada ao clima local e às altas concentrações de Fe e outros metais no solo, teria o papel de cobrir o substrato pós-

minerado mais rapidamente e preservando a biodiversidade e, desta forma, reduzindo o efeito da água da chuva e do vento sobre a superfície degradada.

Para que a recuperação se estabeleça de forma efetiva deve-se atentar para referências anteriores sobre a constituição do solo, tipo de vegetação, ciclagem de nutrientes e microclima da região então degradada. As técnicas e estratégias de restauração, baseadas nestes conhecimentos, devem assegurar, com maior chance, o sucesso do procedimento.

Os banco de dados previamente levantado contém um arcabouço de informações biológicas e ambientais, e assim subsidia os projetos de recuperação, favorecendo as chances de sucesso.

2.2.1 Recuperação em Campos Ferruginosos (CF's)

Apesar do sucesso apresentado pelo cultivo de espécies hiperacumuladoras para fins de fitorremediação, nem sempre o objetivo da revegetação da área degradada pode ser alcançado através de sua monocultura, principalmente quando se objetiva a restauração dos campos ferruginosos. Nestes casos, espera-se que as plantas retirem do solo grandes quantidades dos metais potencialmente tóxicos e os armazenem em seus tecidos, ou que os estabilizem no solo, reduzindo desta forma o potencial de contaminação da área (Tavares *et al.*, 2013).

As técnicas mais comumente aplicadas sobre áreas degradadas pela mineração de Fe no QF tem visado a rápida recuperação da cobertura do solo por uma camada de vegetação, sendo utilizados principalmente o plantio de mudas, hidro-semeadura, utilização de espécies invasoras de rápido desenvolvimento e utilização de tapetes verdes (Reis et al. 2006). No entanto muitas dessas técnicas não ultrapassam o primeiro estágio sucessional devido as condições restritivas do local, levando a uma recuperação não efetiva do ambiente natural que decai e não se sustenta a ponto de completar os estágios sucessionais e estabelecer novamente um ecossistema satisfatório (Reis et al. 2006).

Neste caso, o plantio de espécies com diferentes capacidades nucleadoras, sendo elas acumuladoras ou não-acumuladoras de metais, pode ser mais desejável que o uso exclusivo de espécies hiperacumuladoras, uma vez que tais grupos funcionais com diferentes funções auxiliarão na diversificação das espécies colonizadoras para recuperação do ambiente. Estudos com hiperacumuladoras de Se, por exemplo,

demonstraram que estas são capazes de concentrar o elemento no solo ao seu redor, impedindo o estabelecimento de espécies mais sensíveis ao Se (El Mehdawi *et al.* 2011). Ou seja, tais espécies são inibidoras da diversidade e não poderiam ser usadas para iniciar processos de restauração. Nos CF's, Schettini (2015) verificou que a comunidade de plantas estabelecida ao redor de três espécies de melastomatóceas com diferentes habilidades para concentrar Al em suas folhas diferiu na colonização ao seu redor por diferentes espécies, sugerindo que o plantio dessas três espécies em áreas degradadas pela mineração de Fe poderia facilitar o estabelecimento de maior diversificação de plantas, incrementando a diversidade de funcionalidades no ambiente e, conseqüentemente, favorecendo a restauração ecológica. A co-existência nos campos ferruginosos de espécies com habilidades de excluir, ou seja, de não acumular o Al em seus tecidos (Arias 2016), sugere também que este grupo funcional de plantas pode afetar diferentemente o estabelecimento das espécies dos campos ferruginosos. Entretanto, não há ainda informação sobre isso disponível na literatura.

2.3 Estratégias de adaptação aos campos ferruginosos: plantas acumuladoras e não acumuladoras de Al

De fato, em todo o mundo, espécies com alta capacidade fitoextratora de metais pesados, chamadas de hiperacumuladoras, têm sido usadas para recobrir áreas contaminadas (Cao *et al.*, 2002; Grant *et al.*, 2007). Para utilização das espécies em projetos de fitorremediação é desejável que estas espécies também apresentem rápido crescimento e habilidade de acumular os metais preferencialmente na parte aérea, permitindo a retirada periódica da biomassa aérea, de forma a reduzir progressivamente a quantidade do elemento no solo. O número de espécies que apresentam este conjunto desejável de atributos (hiperacumulação, rápido crescimento sobre o substrato metalífero), entretanto, é expressivamente reduzido em comparação com a diversidade de espécies existente nos diferentes ecossistemas que ocorrem naturalmente sobre solos ricos em metais pesados (Whiting *et al.*, 2004).

De acordo com sua afinidade pelos metais contidos no solo, as plantas metalófitas podem ser categorizadas em pseudometalófitas, eumetalófitas e hiperacumuladoras. As pseudometalófitas possuem melhor habilidade para resistir aos metais quando comparadas a espécies presentes em solos não metalíferos. As eumetalófitas, são também referidas como metalófitas verdadeiras, ou simplesmente

metalófitas possuem mecanismos especializados de resistência e/ou tolerância, possuindo táxons endêmicos de áreas metalíferas. Já as hiperacumuladoras possuem mecanismos extremamente especializados para acumular e hiperacumular altos índices de metais em seus tecidos que podem ultrapassar a 2% de seu peso seco (Whiting *et al.*, 2004).

Pouco se conhece das comunidades vegetais sobre solos metalíferos sobre canga no que se refere ao caráter funcional da habilidade de acumulação ou exclusão de metais. Hipotetiza-se que o caráter de acumulação ou exclusão de metais das plantas em sua estrutura seja capaz de determinar também a estrutura das comunidades em solos metalíferos, uma vez que os diferentes grupos funcionais de plantas presentes em tais ambientes modificam a composição química dos solos sobre a sua influência. Desta forma, este trabalho pretende avaliar a capacidade de espécies acumuladoras e não acumuladoras de alumínio em alterar as propriedades químicas dos solos e, conseqüentemente, da comunidade de espécies colonizadoras ao seu redor.

3. Objetivos

3.1. Objetivos Gerais

Verificar a influência de espécies acumuladoras e não acumuladoras de Al sobre as características químicas do solo e florísticas ao seu redor, bem como indícios de seus potenciais de nucleação para uso em projetos de restauração ecológica de áreas degradadas por mineração de Fe e Al.

4. Materiais e Métodos

4.1. Área de Estudo

O estudo foi realizado em uma área localizada no Parque Natural Municipal Cachoeira das Andorinhas, em Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil (-20° 21' 29" / -43° 30' 10" - Figura1). A altitude média é de 1500 m e o relevo é acidentado. Nas áreas de campos rupestres há um mosaico de diferentes tipos rochosos, predominando os quartzitos com afloramentos de diferentes proporções, e também os campos ferruginosos sobre as formações ferríferas bandadas (BIF's), ou itabiritos, formando os campos conhecidos localmente como cangas (Schettini 2015).

O clima da região é categorizado como Cwb, que corresponde ao clima tropical de altitude e se caracteriza por verões chuvosos e brandos e invernos com baixas temperaturas (Alvares *et al.* 2013).

A vegetação é constituída de formações de campo rupestre ferruginoso sobre canga, e de remanescentes de florestas montanas. Alguns estudos foram conduzidos nessa mesma localidade, como os estudos fitossociológicos de Vale (2013) e da avaliação do potencial acumulador de metais das espécies ocorrentes (Schettini *et al.* 2018).

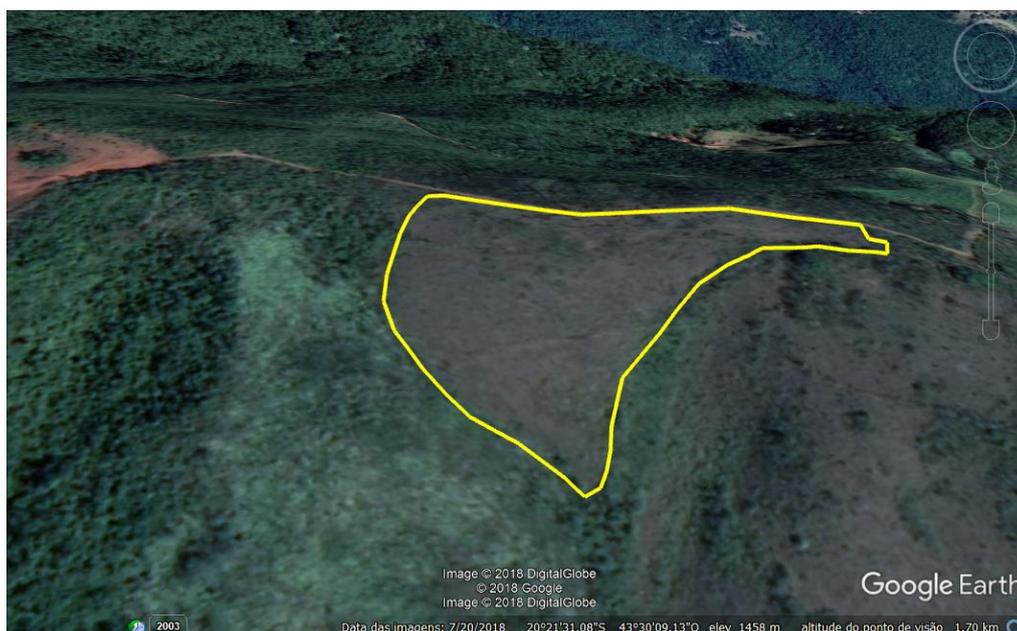


Figura 1 - Local de estudo (em amarelo) no Parque Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, MG.

4.2. Escolha das espécies e indivíduos

A escolha de espécies acumuladoras e não acumuladoras de alumínio foi fundamentada no estudo de Schettini (2015). Dentre as não acumuladoras de Al foram escolhidas *Matayba marginata* Radlk (Sapindaceae), *Senna reniformis* (G.Don) H.S. Irwin & Barneby e *Periandra mediterranea* (Vell.) Taub., pertencentes à família Fabaceae (Figura 6).

Dentre as acumuladoras foram selecionadas três espécies pertencentes à família Melastomataceae: *Leandra australis* (Cham.) Cogn., *Miconia corallina* Spring e *Pleroma heteromallum* D. Don (D.Don.) (Figura 7). Todas estas espécies foram estudadas por Schettini *et al.* 2018, os quais avaliaram a habilidade de acumulação de Al

e a interferência desse mecanismo sobre os parâmetros químicos do solo e da comunidade vegetal no seu entorno (composição florística, diversidade e abundância de espécies plantas).

Schettini *et al.* (2018), trabalhando no mesmo local de estudo, verificaram diferenças significativas na diversidade de espécies e a densidade de plantas ao redor de indivíduos de três espécies de Melastomataceae com distintas capacidades de acumulação de alumínio.

No entanto, não se pode afirmar se tal poder de modificação de propriedades químicas do solo e, por consequência, determinar a composição da flora e a densidade das plantas ao seu redor, seria mais evidente em espécies acumuladoras de Al. Além disso, questiona-se também se espécies de famílias tipicamente não-associadas à altas concentrações foliares de Al, como as leguminosas (Miguel *et al.* 2010), modificariam o solo em direção oposta, diminuindo a concentração de Al no solo, por exemplo e, desta forma, facilitariam o estabelecimento de uma comunidade de plantas distinta ao seu redor.

Outro parâmetro que influenciou a escolha das espécies foi a presença de números mínimos de indivíduos com tamanho e arquitetura de copas semelhantes, a fim de se evitar o confundimento com outras variáveis que poderiam alterar a composição das comunidades vegetais.

Desta forma, foram escolhidos e marcados 10 indivíduos de cada espécie a ser estudada, localizados em ambiente similar, ao longo do topo da vertente, totalizando-se assim 60 indivíduos.



Figura 2 - Plantas não-acumuladoras estudadas. **A-B** *Matayba marginata* **C-D)** *Senna reniformis* **E)** *Periandra mediterranea* **F)** Arbusto de *Periandra mediterranea* demarcado para o estudo.

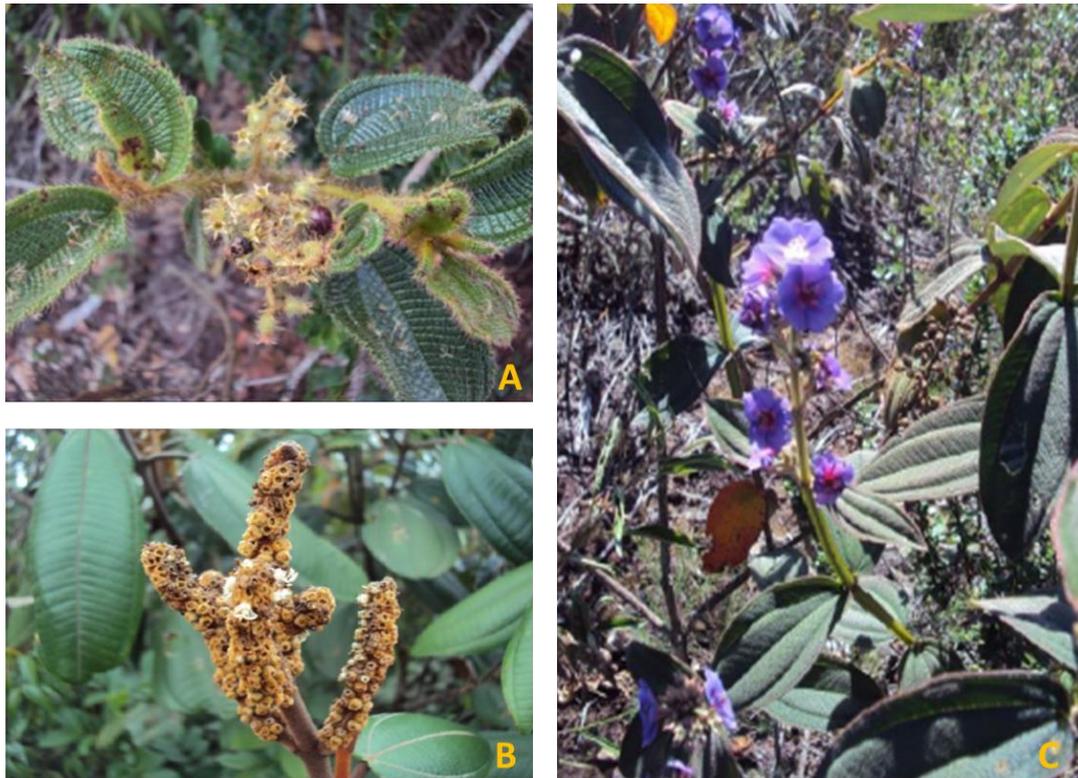


Figura 3 – Plantas acumuladoras de AI **A)** *Leandra australis*. **B)** *Miconia corallina*. **C)** *Pleroma heteromallum* (= *Tibouchina heteromalla*). Fonte: (Schettini, 2015)

Os indivíduos amostrados foram georreferenciadas por meio de GPS (Global Position System) com pontos identificados e definidos com coordenadas posteriormente plotados em mapas utilizando-se o (Google Earth Pro 2018).

Todos espécimes das espécies vegetais utilizadas para o estudo foram coletados, identificados, herborizados e depositadas no Herbário Professor José Badini (OUPR), da Universidade Federal de Ouro Preto. A identificação foi realizada por análises morfológicas, pesquisas bibliográficas e por comparação com o material depositado no Herbário Professor José Badini.

4.3. Arquitetura da copa

Uma vez que os estudos de Schettini (2015) sugeriram que a arquitetura da parte área da planta poderia exercer influência sobre a riqueza no que diz respeito a abundância e diversidade de espécies na comunidade ao redor dos indivíduos nucleadores, foram também mensuradas a altura total (HT) e a área da copa. A altura total foi estimada como a distância vertical entre o terreno o ápice da copa da planta, determinada por meio de fita métrica seguindo indicações de Silva & Neto (1979). Já

para o cálculo da área média da copa, foram tomadas duas medidas perpendiculares da projeção da copa.

As áreas individuais das copas foram determinadas usando-se a fórmula de Durigan & Silveira (1999), adaptada por Schettini (2015). A equação abaixo considera as projeções elípticas de Iezzi (1985).

$$C_i = \pi * d_1 * d_2 / 4$$

Onde:

C_i = área da copa do indivíduo i

d_1 = diâmetro 1 da copa do indivíduo i

d_2 = diâmetro 2 da copa do indivíduo i

$\pi = 3,14$



Figura 4 - Medição da altura de um indivíduo de *S. reniformis* por meio de trena. Fonte: Schettini, 2015.

4.4. Parâmetros Fitossociológicos

Foram inventariados todos os indivíduos com pelo menos dois pares de folhas definitivas capazes de serem identificados, ocorrentes ao redor dos indivíduos demarcados para pesquisa, em um círculo de raio de 80 cm, ou seja, uma área amostrada de 2,01 m² de acordo com Bitencourt *et al.* (2007), exemplificado na figura abaixo.



Figura 5 - Exemplo da demarcação da área de amostragem da comunidade vegetal ao redor do indivíduo, usando um círculo de mangueira com raio de 80cm

Para cada espécie inventariada foram estimados os parâmetros fitossociológicos relativos à Densidade Absoluta (DA_i - número de indivíduos de dada espécie por m^2) e Densidade Relativa (DR_i - participação percentual de determinada espécie em relação à somatória dos percentuais de participação de todas as espécies amostradas por m^2), de acordo com o proposto por Mueller-Dombois & Ellenberg (1974), utilizando-se as fórmulas descritas a seguir:

$$DA_i = N_i * U/A$$

Onde:

DA_i = Densidade absoluta de determinada espécie;

N_i = número total de indivíduos amostrados;

U = unidade de área (m^2);

A = área amostrada (m^2).

$$DR_i = n_i/N * 100$$

Onde:

DR_i = Densidade relativa de determinada espécie;

n_i = número de indivíduos de determinada espécie;

N = número de indivíduos amostrados de todas as espécies.

Foram também estimadas as frequências absoluta e relativa de todas as espécies amostradas, de acordo com Mueller-Dombois & Ellenberg (1974). A frequência absoluta (FA) e relativa (FR) foram estimadas para se observar a distribuição dos indivíduos das espécies na área amostral utilizando-se a fórmula a seguir:

$$FA_i = U_i/U_t * 100$$

Onde:

FA_i = frequência absoluta da i-ésima espécie na comunidade vegetal

U_i = número de unidades amostrais em que a i-ésima espécie ocorre

U_t = número total de unidades amostrais

$$FR_i = [FA_i/\Sigma FA] * 100$$

Onde:

FR_i = frequência relativa da i-ésima espécie na comunidade vegetal

FA_i = frequência absoluta da i-ésima espécie na comunidade vegetal

4.5. Análises de solo

Foram coletadas amostras compostas de solos (0-10cm) sob a copa dos indivíduos selecionados para o estudo ao final da estação chuvosa, em março de 2017. Tomou-se cerca de 500g de amostra, de acordo com o sugerido pela Embrapa (1997).

4.6. Análises químicas de rotina (Fertilidade)

As amostras de solo foram secas em estufa, em temperatura controlada de 40°C por 72h e posteriormente peneiradas para obtenção da fração menor que 2mm.

Foram realizadas análises químicas de fertilidade para a determinação de acidez ativa (pH), nitrogênio total (N), fósforo disponível e Remanescente (P, P-rem), potássio disponível (K), cálcio trocável (Ca²⁺), magnésio trocável (Mg²⁺), acidez trocável (Al³⁺), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC pH7 (T),

saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m). A determinação do nitrogênio foi realizada pelo método Kjeldahl; para a determinação do P e K utilizou-se o extrator Mehlich 1; para a determinação do Ca, Mg e Al utilizou-se como extrator solução de KCl 1mol/L; para a determinação do Al associados aos íons H⁺ foi utilizado extração com solução de acetato de cálcio 0,5mol/L em pH 7.0. Os procedimentos analíticos seguiram metodologia descrita pela Embrapa (1997) e foram realizados no Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Lavras.

4.7. Análise Geoquímica dos solos

Parte das amostras foi utilizada para a determinação dos teores totais dos elementos presentes, com o objetivo de se relacionar a composição do solo com a colonização do mesmo posteriormente pelas plantas. Para tal, obteve-se a fração menor que 0,063mm através do peneiramento para a realização a digestão total de acordo com o procedimento descrito por Moutte (1990) e posterior análise dos teores em ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry, em português, Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente). Estas análises foram realizadas no laboratório de Geoquímica Ambiental (LGqA), do departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto. Após seco o material foi dividido em pequenas amostras de 0,250g e acondicionado em frascos de teflon da marca Savillex no qual foram adicionadas 06 gotas de água Milli-Q (aproximadamente 0,5ml no máximo) para homogeneização do solo e facilitar a digestão total. Foram então adicionados 3ml de ácido clorídrico (10mol/L) e 1ml de ácido nítrico (10mol/L). Os frascos abertos foram colocados sobre uma placa aquecedora com a temperatura de 100°C até a secagem.

No material já seco foi acrescentado 2ml de ácido fluorídrico concentrado em cada frasco, novamente levando-os destampados para a placa aquecedora na temperatura de 110°C. Posteriormente, foram adicionados 2ml de ácido fluorídrico aos frascos, que desta vez foram fechados, permanecendo assim por 30h na placa aquecedora. Após este tempo, foram abertos tendo suas tampas lavadas com cerca de 3 a 4 gotas de água Milli-Q vertida no tubo de teflon e levados à placa novamente.

Com o material seco se acrescentaram 2ml de ácido nítrico (10mol/L), levando os frascos novamente a placa aquecedora a 110°C para secagem dos ácidos, repetindo-se o procedimento uma vez mais. Em seguida, foram adicionados aos frascos abertos

2ml de ácido clorídrico (10mol/L) e levados a placa aquecedora com temperatura de 110°C para secagem.

Sequencialmente, devido à alta concentração de material orgânico no solo foram adicionados, em quatro etapas diferentes, concentrações de peróxido de hidrogênio e ácido nítrico (10mol/L). Na primeira etapa acrescentou-se 0,5ml de peróxido de hidrogênio aos frascos encaminhando-os para secagem na placa. Já na segunda etapa, foram adicionados 0,5ml de peróxido de hidrogênio e 2ml de ácido nítrico (10mol/L) e levado novamente à secagem na placa aquecedora. A terceira etapa consistiu em acrescentar 0,5ml de peróxido de hidrogênio e deixar reagir por 16h fora da placa aquecedora como forma de consumir a matéria orgânica. Na quarta e última etapa foi adicionado novamente mais 0,5ml de peróxido de hidrogênio e levado à placa aquecedora até a secagem.

Com os frascos secos e retirados da placa aquecedora acrescentou-se 25ml de ácido nítrico (2mol/L), que foram tampados, agitados e levados novamente à placa aquecedora com temperatura de 100°C por 2h. Como etapa final, os frascos foram retirados da placa e, após seu resfriamento, pesados em balança analítica. Para verificar a ausência de contaminação durante o processo de digestão e validar a eficiência do processo de solubilização das amostras e determinação dos elementos no ICP-OES o procedimento de digestão total foi acompanhado por um branco e por um material de referência certificado (BCR 701).

O material solubilizado no processo foi então acondicionado em frascos devidamente limpos e etiquetados. Para tal, os frascos foram previamente lavados em três etapas com água destilada e depois levados para secagem na estufa de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), para só então estarem aptos ao acondicionamento do material final a ser lido no ICP-OES.

4.8. Análises estatísticas

Os dados de abundância e riqueza de espécies foram avaliados quanto à normalidade e homogeneidade de variâncias. Para tal, foram usados os testes de Kolmogorov-Smirnov e Levene's test respectivamente. Estes procedimentos foram executados no software Minitab.

As variáveis que não atendiam aos pressupostos de homogeneidade de variâncias e normalidade, foram transformadas, usando a ferramenta de 'transformação

box cox' do Minitab. Após este procedimento, avaliou-se a existência de diferença entre os tratamentos por meio da Análise de Variâncias (ANOVA).

O Teste de Tuckey foi empregado para se verificar quais as médias apresentavam diferenças significativas entre si. Todos os testes foram efetuados com valor de 5% de significância.

Foram também analisados e comparados os valores obtidos nas análises químicas dos solos ao redor das diferentes espécies selecionadas.

Após isso realizou-se análises de agrupamentos das espécies ocorrentes no entorno das nucleadoras. Esta análise foi realizada separadamente por espécies, e também por categorias, como acumuladoras (AC) e não-acumuladoras (NAC).

5. Resultados

O grupo das não-acumuladoras de alumínio (*M. marginata*, *P. mediterranea* e *S. reniformis*) apresentou maior riqueza de espécies e abundância de indivíduos recrutados ao seu redor (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Riqueza de espécies (média por indivíduos) e densidade (indivíduos/m²) ao redor dos indivíduos de espécies acumuladoras e não acumuladoras de Al, em um levantamento em campo ferruginoso situado não Parque Natural Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais.

Espécie	Riqueza (média por ind.)	Densidade (ind/m ²)
Não acumuladoras de Al		
<i>Senna reniformis</i> (G.Don) H.S.Irwin & Barneby	3,4	26,0
<i>Matayba marginata</i> Radlk.	2,7	24,1
<i>Periandra mediterranea</i> (Vell.) Taub.	3,1	21,0
Acumuladoras de Al		
<i>Miconia corallina</i> Spring	2,2	8,0
<i>Leandra australis</i> (Cham.) Cogn.	2,0	4,6
<i>Pleroma heteromallum</i> D. Don. (D.Don)	0,9	2,0

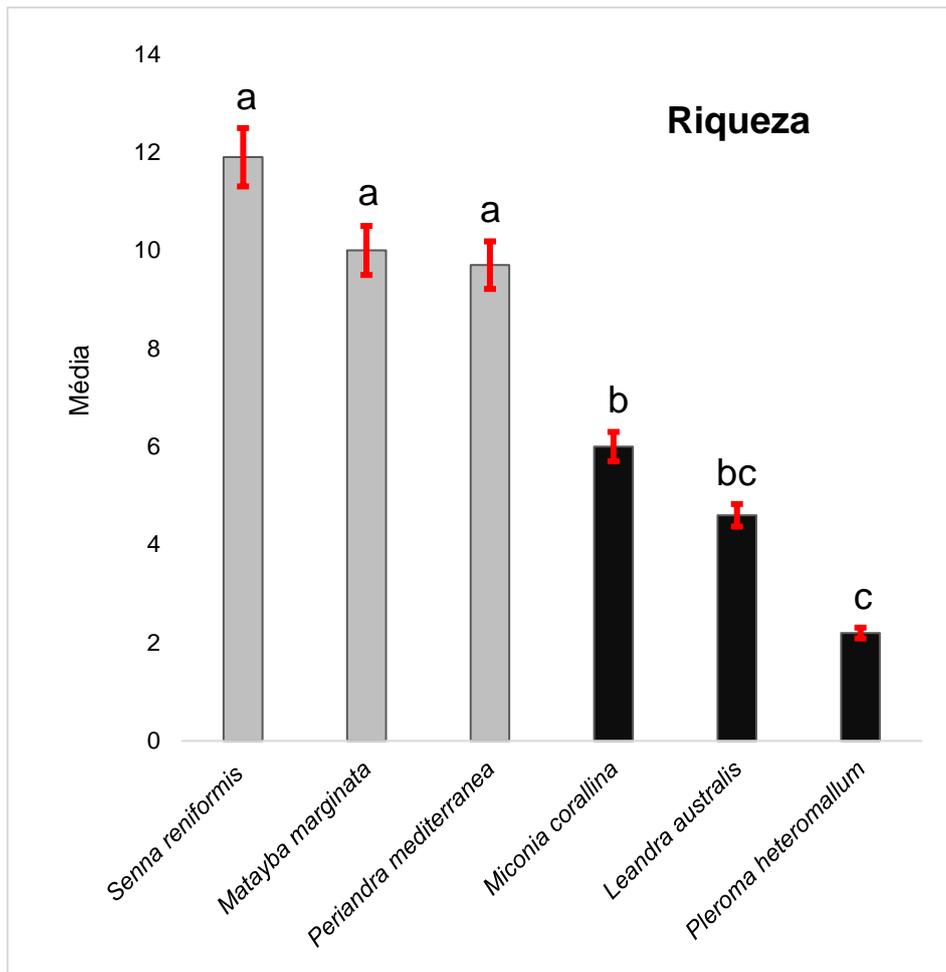


Figura 6 – Riqueza de espécies no entorno das espécies nucleadoras acumuladoras e não-acumuladoras, em um campo ferruginoso situado no Parque Natural Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste de Tuckey.

Tabela 2. nº das espécies ocorrentes no entorno de indivíduos, em um levantamento feito em um campo ferruginoso situado no Parque Natural Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais.

Espécie	Número de indivíduos presentes no entorno	
	Não-acumuladoras de	Acumuladoras de
	Al	Al
<i>Baccharis reticularia</i> DC.	16	3
<i>Borreria capitata</i> (Ruiz & Pav.) DC.	8	1
<i>Chromolaena squalida</i> (DC.) R.M.King & H.Rob	2	2
<i>Cordia vinosa</i> (Cham.) Kuntze *	11	6
<i>Diplusodon microphyllus</i> Pohl	64	7
<i>Dyckia rariflora</i> Schult. & Schult.f.	282	47
<i>Erythroxylum gonocladum</i> (Mart.) O.E.Schulz	28	11
<i>Lantana fucata</i> Lindl.	11	12
<i>Matayba marginata</i> Radlk.	34	3
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	5	1
<i>Nematanthus strigillosus</i> (Mart.) H.E.Moore	8	22

<i>Paliavana sericiflora</i> Benth.	7	2
<i>Periandra mediterranea</i> (Vell.) Taub.	225	96
<i>Pleroma heteromallum</i> D. Don. (D.Don) **	168	8
<i>Polypodium</i> L.	2	7
<i>Psyllocarpus laricoides</i> Mart. ex Mart. & Zucc.	60	18
<i>Rhynchospora tenuis</i> Link	64	6
<i>Senna reniformis</i> (G.Don) H.S.Irwin & Barneby	20	2
<i>Spigelia spartioides</i> Cham.	2	2
Média total de indivíduos por m ²	16,95	4,26

* *Cordia vinosa* (Cham.) Kuntze - sinônimo *Alibertia rotunda* (Cham.) K.Schum.

** *Pleroma heteromallum* D. Don. (D.Don) - sinônimo *Tibouchina heteromalla* (D.Don) Cogn.

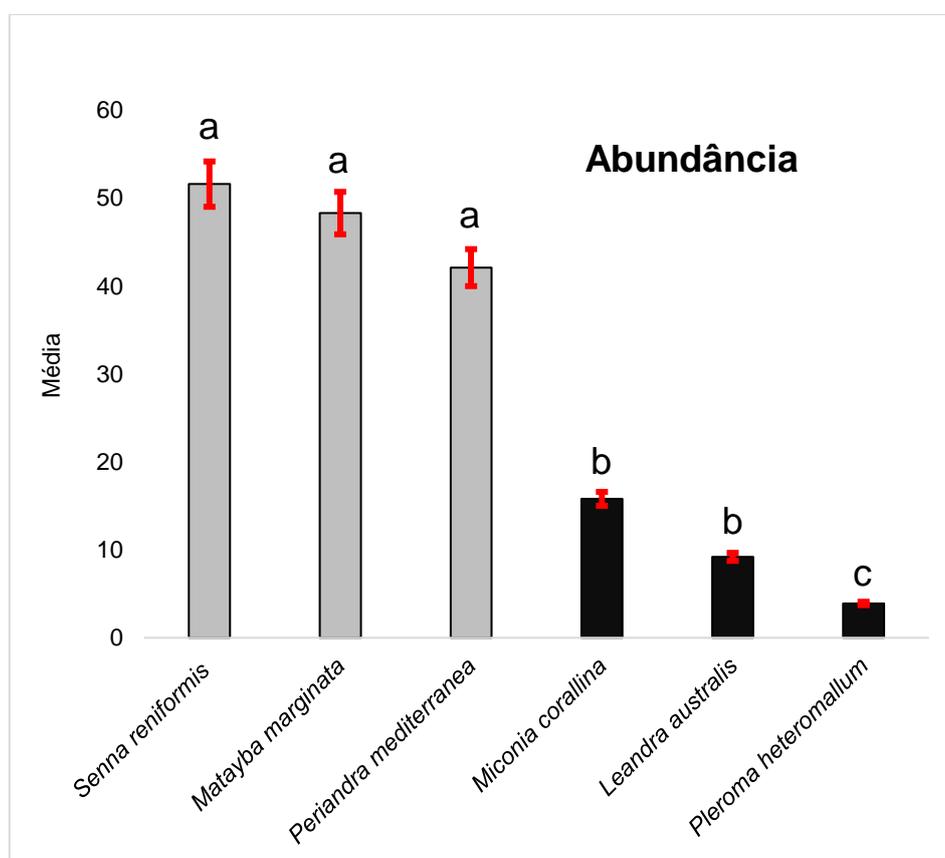


Figura 7 – Abundância de indivíduos ao entorno das nucleadoras acumuladoras e não acumuladoras, em um campo ferruginoso situado no Parque Natural Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste de Tuckey.

Foram encontradas 58 espécies ao redor das plantas avaliadas, sendo 28 delas exclusivas do entorno das não-acumuladoras (Tabela 3) e 11 das acumuladoras de Al (Tabela 3). *Anthurium minarum* e *Piper* sp. são as espécies exclusivas ao redor das acumuladoras que apresentam maior abundância de indivíduos (Tabela 3). Das espécies que ocorreram exclusivamente ao redor das não acumuladoras, as mais abundantes

foram uma espécie de Poaceae não identificada e *Lippia origanoides*. Dentre as 19 espécies de comum ocorrência ao redor dos dois grupos funcionais, as de maior abundância no entorno das acumuladoras de AI foram, em ordem decrescente, *Periandra mediterranea* (Vell.) Taub., *Dyckia rariflora* Schult. & Schult.f., *Nematanthus strigillosus* (Mart.) H.E. Moore e *Psyllocarpus laricoides* Mart. ex Mart. & Zucc. (Tabela 2), enquanto no entorno das não-acumuladoras de AI foram *Dyckia rariflora* Schult. & Schult.f., *Periandra mediterranea* (Vell.) Taub. e *Pleroma heteromallum* (D.Don) D. Don. (Tabela 3).

Tabela 3. Abundância de indivíduos (nº) das espécies exclusivas do entorno de indivíduos nucleadores não-acumuladores de AI e espécies exclusivas do entorno de indivíduos nucleadores acumuladores de AI, em um levantamento feito em um campo ferruginoso situado no Parque Natural Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais.

Espécies	Nº de indivíduos
Presentes exclusivamente no entorno de não-acumuladoras de AI	
<i>Ageratum fastigiatum</i> (Gardner) R.M.King & H.Rob.	6
<i>Ageratum</i> sp.	2
<i>Anaptychia leucomalaena</i> (L.) A. Massal.	5
Anthocerotaceae Dumort.	91
Asteraceae Bercht. & J.Presl	13
Astereae Cass.	2
<i>Baccharis pingraea</i> DC.	5
<i>Blechnum</i> sp.1	2
<i>Blechnum</i> sp.2	1
<i>Centrosema coriaceum</i> Benth.	4
<i>Cladonia miniata</i> G. Mey.	15
<i>Cladonia</i> P. Browne	50
<i>Cladonia</i> P. Browne (2)	3
<i>Commelina</i> sp.	12
<i>Dictyonema glabratum</i> (Spreng.) D. Hawksw.	10
<i>Ditassa mucronata</i> Mart.	7
<i>Eremanthus incanus</i> (Less.) Less.	2
<i>Gomesa ramosa</i> (Lindl.) M.W.Chase & N.H.Williams	22
<i>Lippia origanoides</i> Kunth	27
<i>Moquinia racemosa</i> (Spreng.) DC.	2
Orchidaceae A.Juss.	3
<i>Parmelia proboscídea</i> Taylor	35
Poaceae 1	67
Poaceae 2	6
<i>Polypodium hirsutum</i> Sw.	3
<i>Polypodium</i> L.	3

<i>Trichantheceium wettsteinii</i> (Hack.) Zuloaga & Morrone	7
<i>Trimezia rupestris</i> Ravenna	2
Presentes exclusivamente no entorno de acumuladoras de Al	
<i>Anthurium minarum</i> Sakur. & Mayo	13
<i>Doryopteris ornithopus</i> (Hook. & Baker) J.Sm.	1
<i>Epidendrum secundum</i> Jacq.	2
<i>Heteropterys</i> Kunth	2
<i>Leandra australis</i> (Cham.) Cogn.	2
<i>Miconia corallina</i> Spring	1
<i>Piper</i> L.	4
<i>Psychotria</i> L.	3
<i>Schinus terebinthifolia</i> var. <i>acutifolia</i> Engl.	2
<i>Stachytarpheta glabra</i> Cham.	2
<i>Vismia brasiliensis</i> Choisy	2

Tabela 4. Tamanho médio de copa (Ci) (m²) das espécies analisadas como nucleadoras, em um levantamento feito em um campo ferruginoso situado no Parque Natural Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais.

Espécie	Tamanho médio de copa (Ci)
<i>Miconia corallina</i> Spring	1,43
<i>Leandra australis</i> (Cham.) Cogn.	0,52
<i>Pleroma heteromallum</i> D. Don. (D.Don)	0,35
<i>Periandra mediterranea</i> (Vell.) Taub.	0,43
<i>Matayba marginata</i> Radlk.	0,86
<i>Senna reniformis</i> (G.Don) H.S.Irwin & Barneby	1,01

Testes de regressão (resultados não apresentados) revelaram ausência de qualquer relação significativa entre valores de riqueza e abundância com a área da copa dos indivíduos nucleadores, discordando da sugestão feita por Schettini (2015).

M. corallina (acumuladora de Al) apresentou a maior área de copa média entre as espécies estudadas (Tabela 5), seguida de *S. reniformis* e *M. marginata* (não-acumuladoras). Áreas cerca de duas vezes menores foram mensuradas nas demais espécies.

As concentrações totais de Zn, Fe e Mn nos solos ao redor das espécies acumuladoras de Al foram significantivamente mais elevadas que aquelas encontradas ao redor das não-acumuladoras (Figuras 8 e 9). O contrário, entretanto, foi verificado para o Al (Figura 9).

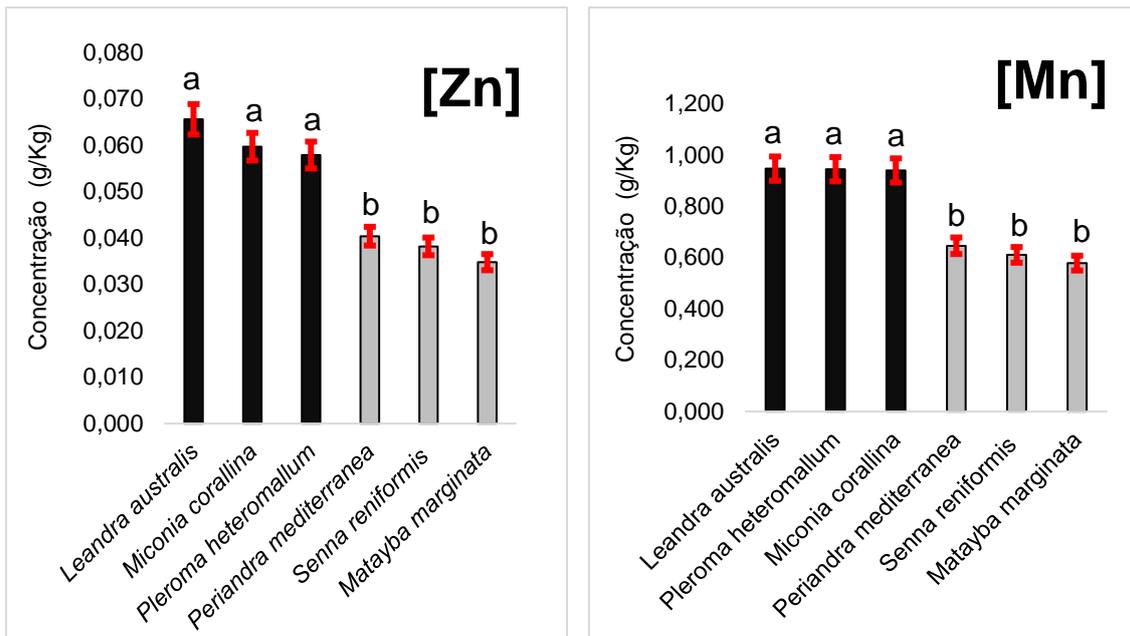


Figura 8 – [Zn] e [Mn] totais médias no solo ao redor das espécies nucleadoras acumuladoras e não-acumuladoras de Al, em um campo ferruginoso situado no Parque Natural Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste de Tuckey.

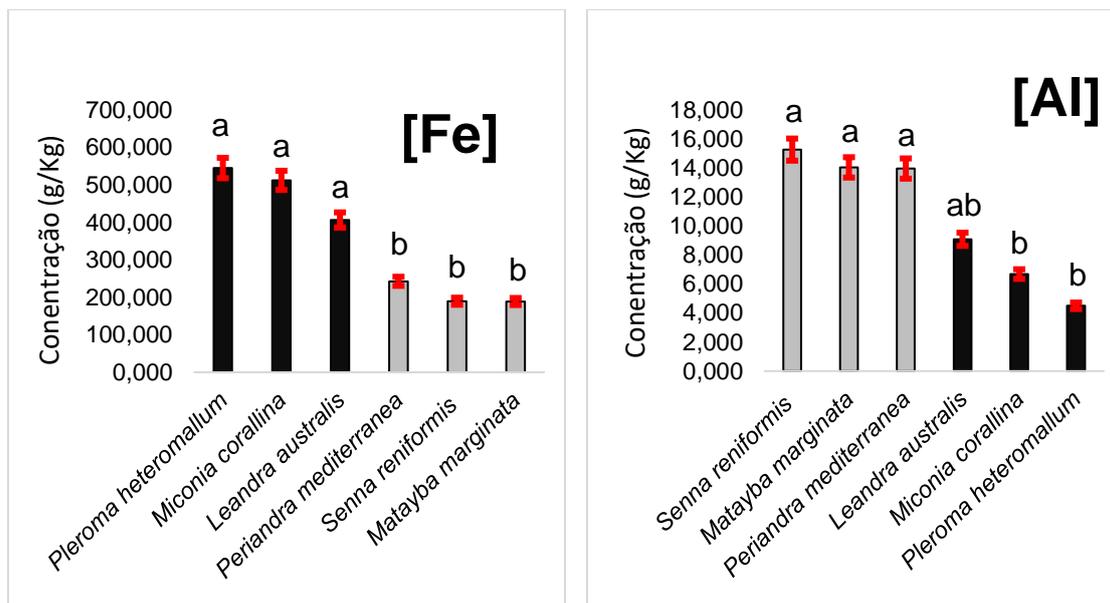


Figura 9 – [Fe] e [Al] totais médias no solo ao redor das espécies nucleadoras acumuladoras e não-acumuladoras de Al, em um campo ferruginoso situado no Parque Natural Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste de Tuckey.

De forma geral, não foram encontradas diferenças significativas nas concentrações totais de K, Ca, Mg e P nos solos coletados ao redor das espécies dos dois grupos funcionais (Figuras 10 e 11). O solo de *P. heteromallum* apresentou a menor concentração de P total quando comparado aos solos das acumuladoras de Al.

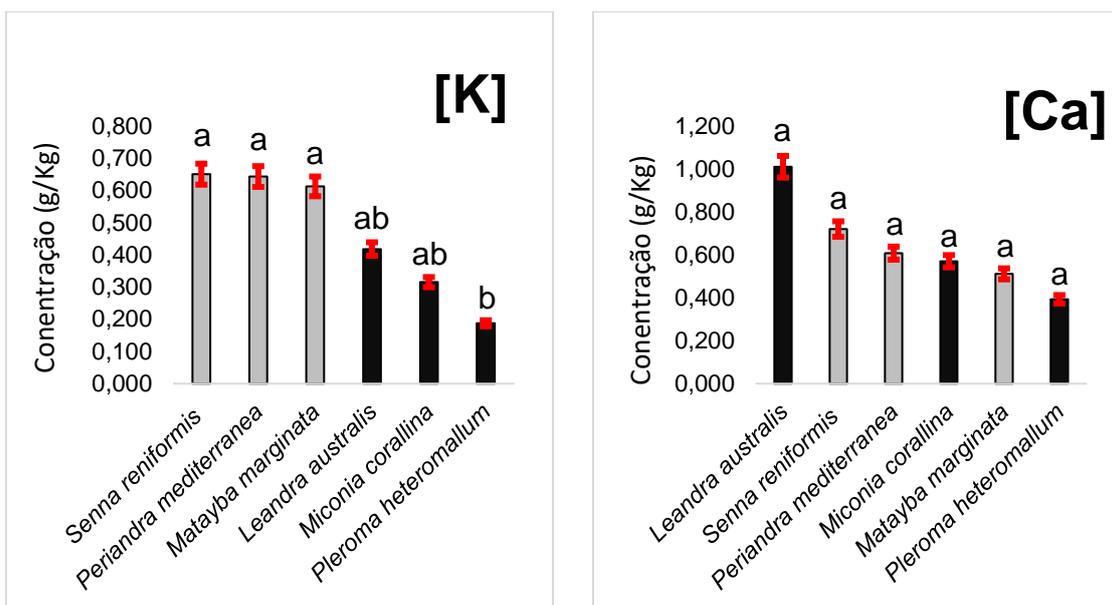


Figura 10 – [K] e [Ca] totais médias no solo ao redor das espécies nucleadoras acumuladoras e não-acumuladoras de Al, em um campo ferruginoso situado no Parque Natural Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste de Tuckey.

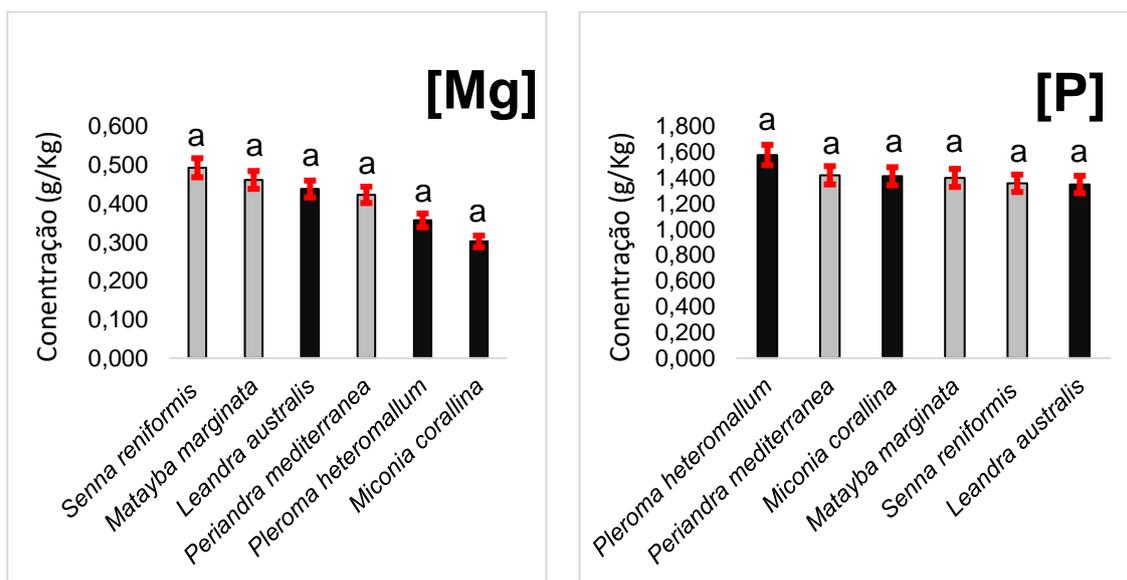


Figura 11 – [Mg] e [P] totais médias no solo ao redor das espécies nucleadoras acumuladoras e não-acumuladoras de Al, em um campo ferruginoso situado no Parque Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais. Letras diferentes indicam diferenças significativas a ($p < 0,05$) pelo teste de Tuckey.

Tabela 5. Análise de índices de fertilidade (média) das espécies não-acumuladoras de Al em comparação com a área de campo ferruginoso e uma área degradada deste campo em um levantamento feito no Parque Natural Municipal da Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais.

Parâmetros	<i>Senna</i>	<i>Periandra</i>	<i>Matayba</i>	Campo
------------	--------------	------------------	----------------	-------

		<i>reniformis</i>	<i>mediterrânea</i>	<i>marginata</i>	Rupestre
pH		4,3	4,4	4,0	4,6
P	(mg/dm ³)	11,0	9,4	6,7	5,6
K	(mg/dm ³)	85,7	69,5	55,5	59,0
Ca	(cmolc/dm ³)	1,9	0,9	1,3	1,5
Mg	(cmolc/dm ³)	0,5	0,2	0,2	0,4
Al	(cmolc/dm ³)	1,5	1,7	1,8	1,0
H+Al	(cmolc/dm ³)	38,1	40,5	37,6	19,0
SB	(cmolc/dm ³)	2,7	1,3	1,6	2,0
(t)	(cmolc/dm ³)	4,2	3,0	3,4	3,0
T	(cmolc//dm ³)	40,7	41,8	39,2	21,0
V	(%)	6,9	3,3	4,1	9,7
M	(%)	39,1	56,4	55,5	32,0
P-Rem	(mg/l)	45,8	42,1	36,9	41,3
N	(dag/Kg)	0,9	1,0	0,5	0,5
M.O.	(dag/Kg)	15,2	11,3	10,6	NC

NC significa que não foram medidos valores para o índice em questão.

6. Discussão

Hipotetiza-se que o caráter de acumulação ou exclusão de metais das plantas em sua estrutura seja capaz de determinar também a estrutura das comunidades em solos metalíferos, uma vez que os diferentes grupos funcionais de plantas presentes em tais ambientes modificam a composição química dos solos sobre a sua influência. Desta forma, este trabalho pretende avaliar a capacidade de espécies acumuladoras e não acumuladoras de alumínio em alterar as propriedades químicas dos solos e, conseqüentemente, da comunidade de espécies colonizadoras ao seu redor.

No entanto maior riqueza de espécies e densidade de indivíduos foram encontrados ao redor das espécies não-acumuladoras de Al. Eliminada a influência da copa como fator determinante da flora no entrono das espécies dos dois grupos funcionais, características químicas de solo parecem destacar-se como possíveis variáveis explicativas. As concentrações de Fe, Zn, Mn no solo foram significativamente mais elevadas ao redor das espécies acumuladoras de Al, enquanto o contrário foi encontrado para Al e K.

Nas rasas depressões na superfície dos campos rupestres, entre os afloramentos das rochas, volumes reduzidos de solo se acumulam, formando um mosaico de microbacias de solos desconectados na paisagem (Jacobi *et al.* 2008; Messias *et al.* 2012). Muitas vezes, essas depressões não chegam a 10 a 15 cm de profundidade e raramente ultrapassam 1m de largura. Tais espaços, onde justamente ocorrem os indivíduos lenhosos, são explorados por densa malha de raízes e, portanto, sofrem intensa influência das atividades radiculares e da deposição da serapilheira (Valim

2012) de seus habitantes. Desta forma, as concentrações de elementos químicos em tais reduzidos volumes de solo devem ser fortemente dependentes da fisiologia dos indivíduos nucleadores, de maior porte. As espécies pertencentes ao grupo funcional de acumulação de Al apresentam valores desse elemento em suas folhas cerca de 18 vezes maiores que aqueles mensurados nas não-acumuladoras avaliadas no presente estudo (Schettini *et al.* 2018). O alumínio pode também ser acumulado em estruturas de maior longevidade na planta, como raízes grossas e caule, como verificado por Schettini (2015).

Essa elevada capacidade de fitoextrair o Al desse grupo funcional de plantas pode reduzir sua concentração nos pequenos volumes de solos onde ocorrem. Exatamente por esse motivo, espécies com altas capacidades de fitoextração de metais potencialmente tóxicos são usadas em processos de descontaminação de solos (Almeida 2016). Fato que não ocorre em Campos Rupestres Ferruginosos, e ao reduzir a concentração do metal contaminante no solo, tais plantas podem facilitar o estabelecimento de espécies menos tolerantes ao metal em questão, e desta forma, aumentar a riqueza de espécies no ambiente. Nem sempre, entretanto, espécies acumuladoras reduzem a concentração do elemento no solo. Em alguns casos, elas podem fazer o inverso, como verificado para acumuladoras de Se (El Medhawi *et al.* 2011). Em situações como essa, a espécie hiperacumuladora de Se acaba por afastar as espécies mais sensíveis às altas concentrações do elemento no solo, facilitando o estabelecimento de uma flora com mecanismos de tolerância mais eficientes.

Assim, a co-existência de espécies de grupos funcionais distintos quanto à capacidade de fitoextração de metais gera diferentes oportunidades de colonização nos solos ao redor dos indivíduos nucleadores, como verificado no presente estudo. Embora as espécies tenham sido separadas de acordo com suas habilidades de fitoextrair e concentrar Al nas folhas, observa-se que elas atuam de maneira diferencial sobre o solo também quanto às concentrações de Fe, Mn, Zn e K. As diferenças na riqueza de espécies e abundância de indivíduos ao redor dos dois grupos funcionais estudados pode ser consequência de uma combinação de respostas à variação das concentrações de todos esses elementos, não somente a do Al como também devido ao período de amostragem feito em 2014 por Schettini (2015) e em 2016 no atual estudo. Além disso, os solos ao redor das duas leguminosas pode ser enriquecido com nitrogênio, caso simbiose com organismos fixadores de N tenha se estabelecido, criando novas condições facilitadoras o que fica demonstrado neste estudo com o fato do N ser

praticamente o dobro ao redor das leguminosas do que o valor encontrado na Sapindaceae como podemos observar na tabela 5.

Enquanto algumas espécies são bastantes restritivas, ocorrendo apenas em sítios com faixas estreitas de características edáficas, e portanto, agregando-se exclusivamente aos solos sob influência de acumuladoras ou não-acumuladoras de Al, outras espécies parecem ser indiferentes às variações nas concentrações de Al, Fe, Mn, Zn e K no solo, ou alternativamente, bastante plásticas em termo fisiológicos, a ponto de garantir os altos valores de densidade ao redor de ambos os grupos funcionais. *P. mediterrânea* é uma espécie frequentemente encontrada em áreas de canga, podemos notar sua presença em pelo menos dois estudos aos quais nos referimos neste trabalho sendo eles Messias *et al.* (2012) e Jacobi *et al.* (2007). Esta espécie também se destaca por ser a única espécie nucleadora totalmente cosmopolita a colonizar o entorno de ambos os grupos funcionais, apresentando também forte relação com *P. heteromallum* que sempre é encontrada acompanhando-a em sua dispersão e colonização no local. Já *S. reniformis* e *M. marginata* apresentam o mesmo padrão de colonização no entorno das nucleadoras acumuladoras de Al invertendo-se somente em posições quanto a maior ou menor presença, sendo cada uma destas espécies a maior colonizadora em torno de si própria quando se tratam das não-acumuladoras de Al.

Tais dados levantam possibilidades de *P. mediterranea* ser a maior exclusora de Al das três não-acumuladoras, justificando assim em parte seu sucesso colonizador e sua capacidade cosmopolita em todos tratamentos do atual estudo. Pode-se também associar a forte relação com a *P. heteromallum* uma vez que das acumuladoras de Al ela é a considerada a com menor capacidade de acumulação de Al, portanto esta associação pode servir como bioindicador de baixas concentrações de Al no solo devido as capacidades das referidas espécies em excluir ou acumular Al em pontos onde aparecem com maior frequência no mosaico formado pelo campo ferruginoso.

7. Conclusão

Grupos funcionais de plantas acumuladoras e não-acumuladoras de Al podem afetar distintamente a concentração de metais nos bolsões de solo dos campos rupestres ferruginosos e, desta forma, criar condições para o estabelecimento de diferentes comunidades de plantas ao seu redor. Esses resultados sugerem o plantio de indivíduos

pertencentes aos dois grupos funcionais como estratégia para promover a diversificação taxonômica e funcional em processos de restauração ecológica de áreas degradadas.

8. Referências Bibliográficas

Almeida DS (2016) Modelos de recuperação ambiental. In: Recuperação Ambiental da Mata Atlântica [online].3rd ed. rev. and enl. Ilhéus, BA: Editus, pp. 100-137. ISBN 978-85-7455-440-2.

Alvares AC, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM & Sparovek G (2014) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 22, No. 6, 711–728

Aoyama EM, Mazzoni-Viveiros SG (2006) Adaptações Estruturais das Plantas ao Ambiente. Instituto de Botânica, Jardim Botânico de São Paulo. Programa de Pós Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, Curso de Capacitação de monitores e educadores. São Paulo, Brasil.

Arias-Jimenez, JC (2016) Do metal tolerance traits explain spatial distribution patterns in metallicolous vascular plant species? Tese de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto

Ataide ES, Castro PTA & Fernandes GW (2011) Florística e caracterização de uma área de campo ferruginoso no complexo minerário Alegria, Serra de Antônio Pereira, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. *Revista Árvores, Viçosa-MG*. 35(6): 1265-1275

Barcelo J, Poschenrieder C & Prasad MNV (2004) Heavy metal stress in plants. Structural and ultrastructural changes in heavy metal exposed plants. Berlin, Heidelberg: Springer; p. 223.

Bitencourt F, Zocche JJ, Costa S, Souza PZ, Mendes AR (2007) Nucleação por *Mimosa bimucronata* (DC.) O.Kuntze em Áreas Degradadas pela Mineração de Carvão. *Revista Brasileira de Biociências*, 5(1):750-752.

Cao X, Ma LQ, Singh SP & Harris WG (2002) Impacts of phosphate amendments on lead biogeochemistry in a contaminated site. *Environ Sci Technol*, 36(24):5296-5304. doi: 10.1021/es020697j

Carmo FF, Campos IC & Jacobi CM (2012) Cangas: ilhas de ferro estratégicas para a conservação. *Ciência Hoje* 295: 48-53.

Carmo FF, Jacobi CM (2013) A vegetação de canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: caracterização e contexto fitogeográfico. *Rodriguésia*, 64(3):527-541.

Castro JT, Santos EC, Santos WPC, Costa LM, Korn M, Nóbrega JA & Korn MGA (2009) A critical evaluation of digestion procedures for coffee samples using diluted nitric acid in closed vessels for inductively coupled plasma optical emission spectrometry. *Talanta*, 78(4-5):1378-1382. doi: 10.1016/j.talanta.2009.02.030

DNPM (2015) Sumário Mineral. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasil

Drummond GM, Martins CS, Machado ABM, Sebaio FA & Antonini Y (2005) Biodiversidade em Minas Gerais: Segunda Edição. Fundação Biodiversitas, Belo Horizonte.

Durigan G, Silveira ERS (1999) Recomposição de matas ciliares. *Scientia Forestalis*, 4:1-14.

El Mehdawi AF, Quinn CF & Pilon – Smits EAH (2011) Effects of selenium hyperaccumulation on plant – plant interactions: evidence for elemental allelopathy? *New Phytologist*, 191(1):120-131. doi: 10.1111/j.1469-8137.2011.03670.x

EMBRAPA (1997) Manual de métodos de análise de solos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2.ed. EMBRAPA, Rio de Janeiro, 212p.

Fernandes GW, Santos R, Barbosa NPU, Almeida HA, Carvalho V & Angrisano P (2015) Ocorrência de plantas não nativas e exóticas em áreas restauradas de campos rupestres. *Planta Daninha*, Viçosa-MG. 33(3): 463-482.

Ferreira MTM (2011) Composição florística e distribuição vertical de epífitas vasculares sobre indivíduos de *Guapira opposita* (Vell.) Reitz (Nyctaginaceae) em um fragmento florestal na Serra da Brígida, Ouro Preto, MG. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto

Grant CD, Ward SC & Morley SC (2007) Return of Ecosystem Function to Restored Bauxite Mines in Western Australia. *Restoration Ecology*, 15(S4):S94-S103. doi: 10.1111/j.1526-100X.2007.00297.x

Google Earth Pro.Ink. Acesso em: 11/09/2018

Higgs ES 1997. What is Good Ecological Restoration? *Conservation Biology* 11(2):338

IBRAM (2015) Informações sobre a economia mineral brasileira 2015. Instituto Brasileiro de Mineração, Brasil

Iezzi G (1985) Fundamentos de Matematica Elementar 7 Geometria Analitica. Atual, Brasil

Jackson LLN, Lopukine N & Hillyard D 1995. Ecological restoration:a definition and coments. *Restoration Ecology* 3:71-75

Jacobi CM, Carmo FF, Vincent RC & Stehmann JR (2007) Plant communities on ironstone outcrops – a diverse and endangered brazilian ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 16(7):2185-2200. doi: 10.1007/s10531-007-9156-8

Jacobi CM, Carmo FF (2008) Diversidade dos campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, MG. *Megadiversidade* 4: 24-32.

Jacobi CM, Carmo FF & Vincent RC (2008) Estudo fitossociológico e uma comunidade vegetal sobre canga como subsídio para a reabilitação de áreas mineradas no Quadrilátero Ferrífero, MG. *Revista Árvore*, Viçosa-MG. 32(2): 345-353

Jacobi CM, Carmo FF & Campos IC (2011) Soaring extinction threats to endemic plants in brazilian metal-rich regions. *AMBIO* 40: 540-543.

Kabata-Pendias A & Pendias H (2001) *Trace Elements in Soils and Plants*. 3rd Edition, CRC Press, Boca Raton, 403 p.

Köppen W (1931) *Climatologia*. México, Fundo de Cultura Econômica.

Messias MCTB, Leite MGP, Meira-Neto JAA & Kozovits AR (2012) Fitossociologia de campos rupestres quartzíticos e ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Acta Botanica Brasilica*, 26(1):230-242. doi: 10.1590/S0102-33062012000100022

Miguel PSB, Gomes FT, Rocha WSD, Martins CE, Carvalho CA & Oliveira AV (2010) Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. *CES Revista*, v.4, Juiz de Fora.

Mourão, A. & Stehmann, J.R. 2007. Levantamento da flora do campo rupestre sobre canga hematítica couraçada remanescente na Mina do Brucutu, Barão de Cocais, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia* 58: 775-786.

Moutte J (2007) *Procedure for multiacid digestion of rocks and minerals* Géochimie. École des Mines de Saint Etienne, France.

Padilha PT, Nicolau VR, Corrêa PF, Citadini-Zanete V, & Santos R (2013) *Técnicas de Restauração de Áreas Degradadas em Unidades de Conservação*. IV Seminário de Pesquisa em Planejamento e Gestão Territorial “As Mudanças Climáticas Globais e Suas Implicações na Ocupação do Espaço Geográfico”. Universidade do Extremo Sul Catarinense. Santa Catarina, Brasil.

Porto, M.L. & Silva, M.F.F. 1989. Tipos de vegetação metalófila em áreas de Serra de Carajás e de Minas Gerais. *Acta Botanica Brasilica* 3: 13-21.

Reis A, Bechara FC, Espindola MB, Vieira NK & Souza LL (2003) Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para incrementar os processos sucessionais. *Natureza & Conservação*, 1: 28-36; 85-92p.

Reis A, Tres DR & Bechara FC (2006) A Nucleação como Novo Paradigma na Restauração Ecológica: “Espaço para o Imprevisível”. Simpósio Sobre Recuperação de Áreas Degradadas com Ênfase em Matas Ciliares E Workshop Sobre Recuperação de Áreas Degradadas no Estado de São Paulo: Avaliação da Aplicação e Aprimoramento da Resolução SMA47/03. Instituto de Botânica, São Paulo.

Rizzini CT (1997) Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. 2 ed. Âmbito Cultural Edições, Rio de Janeiro.

Rodrigues ACD, Santos AM, Santos FS, Pereira ACC & Sobrinho NMBA (2016) Mecanismos de Respostas das Plantas à Poluição por Metais Pesados: Possibilidade de Uso de Macrófitas para Remediação de Ambientes Aquáticos Contaminados. *Revista Virtual de Química*, 2016, 8 (1), 262-276.

Schaefer CE, Cândido HG, Corrêa GR, Pereira A, Nunes JA, Souza OF, Marins A, Fernandes Filho E & Ker JC (2008) 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*. 3i Editora, Belo Horizonte, pp. 77–102.

Schettini AT (2015) Espécies acumuladoras de metais influenciam a composição química do solo e a composição de espécies em campos ferruginosos? Tese de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto

Schettini AT, Leite MGP, Messias MCTB, Gauthier A, Li H & Kozovits AR (2018) Exploring Al, Mn and Fe phytoextraction in 27 ferruginous rocky outcrops plant species. *Flora*, 238:175–182. doi: 10.1016/j.flora.2017.05.004

Silva MFF (1992) Distribuição de metais pesados na vegetação metalófito de Carajás. *Acta Botânica Brasilica*. 6(1): 107-122.

Silva, R.R. & Tozzi, A.M.G.A. 2011. Uma nova espécie de *Mimosa* L. (Leguminosae, Mimosoidea) do Centro-Oeste do Brasil. *Hoehnea* 38: 143-146.

Tavares SRL, Oliveira AS & Salgado CM (2013) Avaliação de Espécies Vegetais na Fitorremediação de Solos Contaminados por Metais Pesados. *Holos*, 5:80-97. doi: 10.15628/holos.2013.1852

Trindade WM, Horn AH & Ribeiro EV (2012) Concentrações de metais pesados em sedimentos do rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora-MG: geoquímica e classificação de risco ambiental. *Revista Geonomos*, 20(1):64-75. doi: 10.18285/geonomos.v20i1.28

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto (2001). Diagnóstico Ambiental da Área de Preservação da Serra da Brígida, Município de Ouro Preto, MG.

Vale PNC (2013) Solo e Topografia como Condicionantes da Distribuição da Vegetação em Fitofisionomias Campestre e Florestal em Contato Direto na Serra da Brígida, Ouro Preto, MG. Tese de mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto

Valim EAR (2012) Ciclagem De Nutrientes No Sistema Atmosfera-Solo-Planta Em Formação Campestre E Florestal Sobre Canga Em Minas Gerais. Tese de mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto

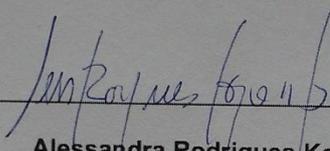
Vasconcelos VV (2014) Campos de Altitude, Campos Rupestres e Aplicação da Lei da Mata Atlântica: Estudo Prospectivo para o Estado de Minas Gerais. *Boletim de Geografia* 32(2): 110-113.

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 RDC, Meguro M (2008) Influence of soil properties on the abundance of plant species in ferruginous rocky soils vegetation, southeastern Brazil. *Rev. Bras. Botânica* 31, 377–388. doi:10.1590/S0100-84042008000300002

Whiting SN, Reeves RD, Richards D, Johnson MS, Cooke JA, Malaisse F, Paton A, Smith AC, Angle JS, Chaney RL, Ginocchio R, Jaffre T, Johns R, McIntyre T, Purvis OW, Salt DE, Schat H, Zhao FJ & Baker AJM (2004) Research Priorities for Conservation of Metallophyte Biodiversity and their Potential for Restoration and Site Remediation. *Restoration Ecology*, 12(1):106-116. doi: 10.1111/j.1061-2971.2004.00367.x

Certifico que a aluna **Bruna Vitor Tavares**, autora do trabalho de conclusão de curso intitulado "**Estudo da florística nos campos ferruginosos sob influência de espécies acumuladoras e não acumuladoras de Al**", efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.



Alessandra Rodrigues Kozovits

Orientadora

Ouro Preto, 05 de fevereiro de 2019.