

LINA ANDRADE LOBO DE REZENDE

RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DE CAMPOS RUPESTRES FERRUGINOSOS

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

R467r
2013 Rezende, Lina Andrade Lobo de, 1983-
Restauração ecológica de Campos rupestres
ferruginosos / Lina Andrade Lobo de Rezende. - Viçosa, MG,
2013.
xi, 75f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador : Luiz Eduardo Dias.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Solos - Conservação. 2. Solos - Degradação. 3. Solos -
Classificação. 4. Solos - Temperatura. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de
Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 631.4

LINA ANDRADE LOBO DE REZENDE

RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DE CAMPOS RUPESTRES FERRUGINOSOS

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Aprovada em: 31 de outubro de 2013.

João Augusto Alves Meira Neto

Geraldo Afonso Wilson Fernandes

Igor Rodrigues Assis
(Coorientador)

Elpídio Inácio Fernandes Filho
(Coorientador)

Luiz Eduardo Dias
(Orientador)

Minas não é palavra montanhosa.

É palavra abissal. Minas é dentro e fundo.

As montanhas escondem o que é Minas

No alto mais celeste, subterrânea, é galeria vertical varando o ferro

Para chegar ninguém sabe onde.

Ninguém sabe Minas. A pedra

O buriti

A carranca

O raio sela a verdade primeira, sepultada

em era geológicas de sonho.

Só mineiros sabem. E não dizem

Nem a si mesmo o irrelatável segredo

chamado Minas.

Carlos Drummond de Andrade

Ao meu filho, dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus em todas as suas formas pela luz divina que carrego em meu coração desde o dia em que nasci.

Ao meu pai, por me incentivar sempre e dividir comigo tudo o que ele sabe.

A minha mãe, por ter me criado assim.

Aos meus irmãos simplesmente por serem meus irmãos.

Às crianças Nico e Bento. Sobrinho e filho que retiram todo o peso das dificuldades só com o olhar.

Ao meu companheiro, André por melhorar minha vida a cada dia que passamos juntos.

À minha avó Yone (*in memoriam*), meu anjo da guarda.

À minha avó Gilda, exemplo de luta e amor.

À querida tia Cyra sempre mandando um agrado da capital!

À tia Kit pelo carinho e refúgio sempre aberto em Penedo.

À incrível Lia, por cuidar do que é mais importante: meu filho.

Aos colegas de departamento Raquel Portes, Mateus de Moraes, Diogo Spínola, Bruno Nery, Samuel Andrade, Maola Faria, Michele Millanez e Joana Cavalcanti.

Em especial, agradeço ao amigo Bruno Mendonça pelo tempo que passamos no LabGeo trocando idéias sobre quase tudo.

Ao professor Carlos Ernesto pelo convívio, amizade e por fornecer os dados dos sensores dos solos de Carajás.

Ao professor João Carlos Ker pela amizade e ensinamentos valiosos durante todo o período na pós graduação.

Ao meu orientador Luiz Eduardo Dias por aceitar conduzir essa pesquisa e me tratar sempre com profissionalismo, além de compartilhar comigo o gosto por viver bem.

Ao professor Elpídio que me impressionou com sua serenidade e paciência para explicar coisas que até Deus duvida. Certamente nos tornamos amigos.

Ao amigo professor Igor Rodrigues Assis pela amizade desde os tempos da graduação.

À empresa Vale representada pelos funcionários do Quadrilátero Ferrífero e de Carajás que desde o mestrado confiam no nosso trabalho.

Aos amigos Reinaldo Duque-Brasil, Maíra Rezende, Maria Alice Fernandes, Juliana Loureiro, Letícia Moreira, Ana Beatriz Cordeiro, Vitor Moura, João Capurucho, Raphael Jonas, Juliana Coura, Luiza Monteiro, Gustavo Soldati, Samuel Andrade, Lucas Poeiras, Amanda Soares, Tatiana Pedersoli, Júlio Verme e Sabrina Mello por aliviarem a barra sempre.

Agradeço demais à minha amiga Alice Batitucci que simplesmente conversou comigo por telefone ou email todos os dias desses dez anos de Viçosa. Temos um livro para publicar...

Aos amigos botânicos Nara Furtado Oliveira e Pedro Viana pela identificação das plantas e por contribuírem para a preservação dos ambientes rupestres.

À querida amiga dendróloga Verônica pelas tardes maravilhosas na Dendrologia onde aprendi tudo o que sei sobre reconhecimento de árvores em campo.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Solos e Nutrição de Plantas.

À todos que de um jeito ou de outro contribuíram para que eu mantivesse o foco e concluísse o doutorado.

Obrigada!

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| Resumo | ix |
| Abstract | xi |
| Introdução geral..... | 1 |
| Referências Bibliográficas | 5 |
| Capítulo 1 | |
| Identificação e mapeamento de fitofisionomias do complexo rupestre no Quadrilátero Ferrífero (QF) por meio de classificação supervisionada. | 9 |
| Resumo | 9 |
| Abstract | 10 |
| 1. Introdução | 11 |
| 2. Material e Métodos..... | 12 |
| 2.1. Área de estudo | 12 |
| 2.2. Descrição das fitofisionomias estudadas | 12 |
| 2.2.1. Campo rupestre ferruginoso | 12 |
| 2.2.2. Campo rupestre arbustivo..... | 13 |
| 2.2.3. Campo limpo | 13 |
| 2.2.4. Formações florestais | 13 |
| 2.2.5. Campo rupestre quartzítico..... | 13 |
| 2.3. Base de dados..... | 14 |
| 2.4. Seleção e validação das amostras de treinamento | 14 |
| 2.5. Classificação supervisionada..... | 15 |
| 2.6. Avaliação da exatidão da classificação..... | 16 |
| 2.7. Sobreposição do mapa temático de uso e ocupação do solo com o mapa geológico..... | 16 |
| 3. Resultados | 16 |
| 4. Discussão | 19 |
| 5. Conclusões..... | 21 |
| 6. Referências Bibliográficas | 22 |

Capítulo 2

| | |
|---|----|
| Restauração ecológica de campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, MG... | 24 |
| Resumo | 24 |
| Abstract | 25 |
| 1. Introdução | 26 |
| 2. Material e métodos..... | 27 |
| 2.1. Caracterização da área de estudo | 27 |
| 2.2. Caracterização do <i>topsoil</i> | 28 |
| 2.3. Montagem do experimento..... | 29 |
| 2.4. Seleção de espécies para o plantio..... | 31 |
| 2.5. Plantio | 32 |
| 2.6. Avaliações dos efeitos dos tratamentos | 33 |
| 2.7. Análises estatísticas..... | 36 |
| 3. Resultados e Discussão | 36 |
| 3.1. Cobertura vegetal..... | 36 |
| 3.2. Sobrevivência das plantas reintroduzidas | 38 |
| 3.3. Regeneração natural..... | 42 |
| 3.4. Fitossociologia do <i>topsoil</i> | 47 |
| 4. Conclusões | 51 |

Capítulo 3

| | |
|---|----|
| Comportamento térmico de solos associados a formações vegetais do Complexo Rupestre sobre Canga em Carajás-PA | 55 |
| Resumo | 55 |
| 1. Introdução | 57 |
| 2. Material e Métodos..... | 58 |
| 2.1. Caracterização da área de estudo | 58 |
| 2.2. Instalação dos sensores | 59 |
| 2.3. Cálculo da difusividade térmica | 60 |
| 3.1. Temperatura | 61 |

| | | |
|------|----------------------------------|----|
| 3.2. | Difusividade térmica | 62 |
| 4.1. | Temperatura | 63 |
| 4.2. | Difusividade térmica | 64 |
| 5. | Considerações finais | 69 |
| 6. | Referências bibliográficas | 52 |

Resumo

REZENDE, Lina Andrade Lobo de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2013. **Restauração ecológica de Campos rupestres ferruginosos**. Orientador: Luiz Eduardo Dias. Coorientadores: Elpídio Inácio Fernandes Filho e Igor Rodrigues de Assis.

Os Campos rupestres ferruginosos ocorrem no Brasil associados a afloramentos rochosos hematíticos em Minas Gerais, Pará e Mato Grosso. Trata-se de vegetação que apresenta elevado endemismo resultante do isolamento das comunidades vegetais no topo das serras e às condições geológicas. As plantas adaptadas a essas condições apresentam diversos mecanismos de adaptação, tornando esse ambiente um ecossistema único. As pressões que os Campos Rupestres Ferruginosos sofrem devem-se principalmente à atividade de mineração e, em Minas Gerais, à expansão urbana. No Brasil, são poucas as unidades de conservação que apresentam áreas representativas dessa formação, podendo-se citar o Parque Estadual do Rola Moça no Quadrilátero Ferrífero, MG. É inegável a importância da mineração em nossa sociedade, tornando-se necessário estabelecer estratégias de conservação e preservação da biodiversidade desses ambientes. Essa tese apresenta os resultados obtidos através do acompanhamento de projeto de pesquisa iniciado em 2009 na mina de Capão Xavier (VALE) em Nova Lima, MG. Foi instalado experimento de campo que teve como foco a restauração de Campos Rupestres Ferruginosos utilizando as diretrizes da Sociedade Internacional para Restauração Ecológica (Ser-International, 2004). Além desses resultados apresenta estudos de mapeamento dos campos e comportamento do solo, temas identificados como lacunas para o sucesso de projetos de restauração ecológica. O acompanhamento da evolução de experimento de campo utilizando plantas provenientes de operações de resgate de flora e o uso de diferentes espessuras de *topsoil* contribuiu para avaliar a dinâmica das áreas em processo de restauração. O estabelecimento de parcelas com diferentes espessuras de *topsoil* reproduziu situação de mosaico semelhante à encontrada nas áreas naturais favorecendo a biodiversidade no ambiente. Entretanto, espécies invasoras apresentaram grande contribuição na cobertura vegetal na área experimental, indicando a necessidade da realização de intervenções. A sobrevivência da comunidade de plantas reintroduzidas no experimento apresentou decréscimo significativo ao longo do tempo. O comportamento térmico do solo em região do Pará indicou que as plantas nos ambientes rochosos ferruginosos podem passar até 7 horas do dia acima de 40 °C graus, evidenciando necessidade de se estabelecer protocolos de preparo de solo de forma a garantir condições ambientais específicas. A identificação das classes de vegetação e o mapeamento de áreas naturais no Quadrilátero Ferrífero foram realizados com o objetivo de fornecer informações sobre a natureza dos ambientes alterados e o contexto ambiental de sua inserção. A classificação supervisionada da composição de todas as bandas de imagem GeoEye, a

primeira componente principal da imagem (PCA1) e o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) apresentou os bons resultados para mapeamento do uso do solo (Índice Kappa = 0,87), indicando possibilidade de sua aplicação na etapa de planejamento de programas de restauração ambiental.

Abstract

REZENDE, Lina Andrade Lobo de, D.Sc, Universidade Federal de Viçosa, october, 2013. **Ecological Restoration of Ferruginous rocky fields**. Adviser: Luiz Eduardo Dias. Co-advisers: Elpídio Inácio Fernandes Filho and Igor Rodrigues de Assis.

The Ferruginous rocky fields occur in Brazil associated with hematite outcrops in Minas Gerais, Pará and Mato Grosso. It is a vegetation that has high endemism resultant of the isolation of plant communities at the top of the mountains and due geocological conditions. Plants adapted to these conditions exhibit different mechanisms of adaptation, making this ambient a unique ecosystem. The pressures that the Ferruginous rocky fields suffer are mainly to mining activity, and in Minas Gerais, the urban sprawl. In Brazil, there are few protected areas that have representative areas of this formation, which may be cited the State Park Rola Moca on Iron Quadrangle, MG. There is no denying on the importance of mining in our society, making it necessary to develop strategies for the conservation and preservation of biodiversity of these environments. This thesis presents the results obtained through the monitoring of a research project started in 2009 in Capão Xavier Mine (VALE) in Nova Lima, MG. A field experiment using the guidelines of the International Society for Ecological Restoration (Ser-International, 2004) was installed focusing the restoration of an area using plants from the Ferruginous rocky fields. In addition to these studies we present here results of field mapping and soil behavior, issues identified as gaps in the success of ecological restoration projects. Monitoring developments in the field experiment using plants from flora rescue operations and the use of different thicknesses of *topsoil* contributed to evaluate the dynamics of the areas in the restoration process. The establishment of plots with different thicknesses of *topsoil* reproduced mosaic situation similar to that found in natural areas favoring biodiversity in the environment. However, invasive species had great contribution in vegetation cover in the experimental area, indicating the necessity of conducting interventions. The survival of the plant community returned to the experiment showed a significant decrease over time. The thermal behavior of the soil in Carajás (PA) indicated that plants in Ferruginous rocky environments may spend up to 7 hours a day above 40 °C degrees, showing the need to establish protocols tillage to ensure specific environmental conditions. The identification of vegetation classes and mapping natural areas Quadrangle were conducted with the aim of providing information on the nature of the changed environment and the environmental context of its insertion. The supervised classification of the composition of all image bands GeoEye, the first principal component image (PCA1) and vegetation index (NDVI) showed good results for mapping of land use (Kappa index = 0,87) indicating the possibility of its application in the planning stage in restoration programs.

Introdução geral

A tese ora apresentada dá continuidade a um projeto de pesquisa iniciado em 2009 em área de mineração localizada no Quadrilátero Ferrífero no município de Nova Lima, MG. Esse trabalho teve como foco a restauração de Campos Rupestres Ferruginosos e seus resultados indicaram a necessidade de estudos complementares que justificaram sua continuidade e que serão discutidos a seguir.

Os campos rupestres são formações vegetais associadas a afloramentos rochosos geralmente encontrados em altitudes. A natureza dos afloramentos é determinante na composição florística dos campos sendo usualmente utilizada em sua classificação (Rizzini, 1979). Apesar de serem reconhecidos como uma unidade florística, os campos rupestres apresentam notável heterogeneidade, determinada por fatores edafoclimáticos como: natureza do substrato, topografia, profundidade do solo e microclima (Jacobi *et al.*, 2007). O nível de fragmentação da rocha e o aprofundamento do solo sobre a qual a vegetação se desenvolve resulta em variações na cobertura vegetal (Schaefer *et al.*, 2007). Essas variações compõem um gradiente fitofisionômico que varia desde formações campestres a formações florestais

No Quadrilátero Ferrífero (MG) e na Serra dos Carajás (PA) os campos rupestres estão associados a vários tipos de substratos ricos em ferro. Estes podem se apresentar totalmente fragmentados ou formando uma espessa e sólida couraça. Entre estes dois extremos ocorrem fisionomias campestres distintas como campo limpo, campo sujo e os campos rupestres propriamente ditos (Jacobi e Carmo, 2008). Nas áreas onde há acúmulo de solo e matéria orgânica, ocorrem os capões florestais de altitude. Além das fitofisionomias associadas aos substratos ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero existem outras sinúsias associadas a substratos não ferruginosos.

A vegetação associada às couraças ferruginosas (cangas) tem sido classificada como Campo Rupestre sobre Canga (Viana e Lombardi, 2007), Campo Ferruginoso (Vincent, 2004) ou Campo Rupestre Ferruginoso (Jacobi *et al.*, 2008). O termo Campo Rupestre Aberto também é utilizado por (Nunes, 2009) para designar a vegetação subarbustiva herbácea associada aos afloramentos rochosos. O termo “Complexo Rupestre sobre Canga” será utilizado nesse trabalho para designar todas as tipologias vegetais associadas aos substratos ferruginosos do Quadrilátero Ferrífero.

Os Campos Rupestres Ferruginosos ocorrem associados a afloramentos rochosos hematíticos e a solos rasos, em geral pobres, apresentando déficit hídrico durante a maior parte do ano, sujeitos a elevada radiação solar e grande amplitude térmica diária. Além disso, são ambientes submetidos a ventos constantes e queimadas frequentes. A inter-relação desses fatores resulta em ambiente restritivo ao estabelecimento de plantas, que

apresentam mecanismos adaptativos morfo-anatômicos e fisiológicos. O alto grau de endemismo dessas formações está relacionado à suas especializações e ao isolamento dos topos das serras onde ocorrem.

O déficit hídrico pode influenciar a organização celular e associado a outros fatores abióticos pode gerar características xeromórficas encontradas em plantas rupestres, como: epiderme adaxial com células volumosas, diminuição da superfície foliar, folhas revolutas, estômatos presentes apenas na face abaxial, presença de inúmeros tricomas na face abaxial, cutícula muito espessa e presença de parênquima aquífero (Gardoni *et al.*, 2007). A tolerância à dessecação ocorre geralmente em plantas de afloramentos rochosos nos trópicos e com menor expressão em zonas temperadas. Pode ser encontrada também em plantas que ocorrem em depressões rasas, fendas e lagoas temporárias que se formam nos afloramentos rochosos. (Porembski & Barthold, 2000). Essas plantas são chamadas de plantas de ressurreição e segundo Hartung *et al.* (1998) apresentam habilidade para sobreviver a ciclos de desidratação sem perder a viabilidade. Espécies da família Velloziaceae que ocorrem em Minas Gerais constituem grande parte das plantas de ressurreição da América do Sul (Gaff, 1987).

Nos afloramentos rochosos hematíticos é comum encontrar espécies da família Cactaceae. Segundo Zappi e Taylor (2008) algumas espécies dessa família manifestam características como, por exemplo, presença de caule fotossintetizante, suculência, redução de folhas, presença de espinhos e tricomas abundantes. Dentre as adaptações fisiológicas ao déficit hídrico, inclui-se o controle da abertura de estômatos, tolerância a dessecação e metabolismo CAM (Gaff, 1987).

Os estresses hídrico e térmico estão relacionados. A maior parte dos tecidos de plantas superiores é incapaz de sobreviver a uma prolongada exposição a temperaturas acima de 45^oC (Taiz e Zeiger, 2004). As plantas são organismos sésseis e sua capacidade de lidar com a exposição a temperaturas acima das condições ótimas de crescimento é crucial para sua sobrevivência (Clarke *et al.*, 2009).

Segundo Larcher (2000) o calor em excesso é uma experiência frequente nos dias calmos para plantas que crescem rente ao substrato, em declives abertos ou em depressões voltadas para o sol. A camada fronteira de ar próxima ao solo se aquece de maneira especialmente intensa sobre um substrato formado por cascalho, substrato arenoso, concreto ou ainda, asfalto. O autor afirma ser muito raro encontrar sinais de injúrias nos tecidos das plantas devido ao excesso de calor, sendo maior o risco para as plantas ou parte delas que ficam mais próximas do substrato. A esse fato atribui o equilíbrio alcançado entre a temperatura das folhas e das flores com a temperatura do ar que envolve essas estruturas. Em ambientes onde não há déficit hídrico, a planta abre seus estômatos e a evaporação da água retira calor da folha, refrescando-a.

A exposição breve e periódica a estresses térmicos subletais leva a planta a tornar-se tolerante a temperaturas letais. Hong e Vierling (2000) afirmam que a habilidade dos organismos em se tornarem termotolerantes a temperaturas normalmente letais tem importância particular para plantas submetidas a flutuações térmicas diárias e que são incapazes de escapar para ambientes mais favoráveis, sendo este um aspecto fundamental da interação do organismo com o ambiente.

Em relação ao calor, Larcher (2000) considera o fogo como fator relevante de estresse. A sobrevivência ao fogo depende da resistência ou fuga dos efeitos diretos do fogo, bem como da tolerância às mudanças das condições pós-fogo (Whelan, 1995). No Cerrado, adaptações como ritidoma espesso, xilopódios, tubérculos, bulbos, cormos e rizomas subterrâneos estão presentes em numerosas espécies de famílias distintas (Silva e Batalha, 2010).

Kolbek e Alves (2008) estudaram os efeitos do pastoreio, fogo e vento em campos rupestres no sudeste do Brasil. Os autores afirmam que a proporção de espécies que só completam seu ciclo de vida com a passagem do fogo e que possuem adaptações específicas para resistir ao fogo indica que, assim como ocorre no Cerrado, esse ecossistema também é bem adaptado ao regime natural de incêndios.

A presença de lignotuber em diferentes taxa de campos rupestres é considerada por Kolbek e Alves (2008) uma vantagem adaptativa, uma vez que plantas que as possuem podem se recuperar a partir de brotações antes das outras espécies. A principal função dos lignotuber ou lignotubérculo é proporcionar melhor condição de sobrevivência às plantas em situações adversas do ambiente, como ventos fortes, déficit hídrico, fogo e ataque de insetos (Alfenas *et al.*, 2004). Das 1.137 plantas vasculares de campo rupestre catalogadas no sudeste do Brasil, 37,5 % são espécies lenhosas com lignotuber e 70% são espécies geófitas com bulbos, rizomas ou tubérculos, estando distribuídas entre as famílias Asteraceae, Melastomataceae, Leguminosae, Orchidaceae, Apocynaceae, Lamiaceae, Malpighiaceae, Euphorbiaceae e Rubiaceae (Kolbek e Alves, 2008).

A estreita associação entre a lavra de minério de ferro e as áreas de ocorrência dos Campos Rupestres Ferruginosos levou essa formação a uma condição especial de vulnerabilidade. Segundo Carmo (2010) a mineração é a principal causa de perdas de áreas de canga nos últimos 40 anos seguida pelos núcleos urbanos.

A legislação brasileira reconhece a importância da conservação e preservação da vegetação nativa. A Constituição Federal de 1988 em seu Artigo 225 § 2º estabelece que aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei. Em atendimento ao Art. 1º do Decreto Nº 97.632, de 1989 os empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais deverão, quando da apresentação do

Estudo de Impacto Ambiental - EIA e do Relatório do Impacto Ambiental - RIMA, submeter à aprovação do órgão ambiental competente Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD)..

Outros mecanismos que prevêm a preservação e conservação da vegetação, incluindo os complexos rupestres sobre canga são a Lei Estadual Nº 20.922, de 16 de outubro de 2013 que dispõe sobre as políticas florestais e de proteção a biodiversidade em Minas Gerais, a Lei da Mata Atlântica (Nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006) e a Resolução do CONAMA 369/06 que trata de intervenções em áreas de preservação permanente (APP). Além das questões legais, iniciativas voluntárias como a do Brasil, signatário da Convenção da Diversidade Biológica (1992), reforçam a necessidade de aprimoramento do conhecimento e das técnicas de reabilitação.

As leis não definem, porém critérios claros que assegurem a proteção e conservação das formações nativas. Trata-se de uma questão polêmica que está relacionada entre outros fatores à definição dos conceitos de recuperação, restauração e reabilitação.

O artigo 3º do Decreto Nº 97.632, de 1989, define que a recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente. De acordo com o SNUC (Decreto Nº 4.340, de 2002), recuperar é restituir um ecossistema ou uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original.

A Sociedade Internacional para Restauração Ecológica (Ser-International, 2004) define como restauração ecológica o processo de auxílio ao reestabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído como resultado direto ou indireto da atividade humana, podendo também ser causado ou agravado por causas naturais. Uma área restaurada não voltará necessariamente à sua condição anterior, sendo o objetivo da restauração ecológica procurar retornar um ecossistema à sua trajetória histórica. A utilização de um modelo conceitual apoiado nos princípios da Ser-International (2004) prevê que os limites da trajetória histórica podem ser estabelecidos por meio de uma combinação de conhecimentos sobre a estrutura, composição e funcionamento preexistentes do ecossistema danificado, de estudos de ecossistemas intactos comparáveis, de informações sobre condições ambientais da região e análises de outras informações ecológicas, culturais e históricas do ecossistema referência. Essa combinação de fontes permite traçar a trajetória histórica ou condições de referência a partir dos dados ecológicos iniciais e com o auxílio de modelos preditivos.

Ainda de acordo com a Ser-International (2004), a reabilitação compartilha com a restauração um enfoque fundamental sobre os ecossistemas históricos ou preexistentes, como modelos ou referências, mas as duas atividades diferem nas suas metas e

estratégias. A reabilitação enfatiza o reparo de processos ecológicos, a produtividade e os serviços de um ecossistema, enquanto que as metas da restauração também incluem o estabelecimento da integridade biológica preexistente, em termos de composição de espécies e estrutura da comunidade.

Considerando a importância da atividade de mineração para a sociedade e a necessidade de conciliar essa atividade à conservação e preservação da biodiversidade do complexo rupestre sobre canga, esse trabalho da continuidade aos estudos iniciados em 2009 sobre reabilitação de campo rupestre ferruginoso. Tomando-se como premissa o conceito de restauração ecológica, foram abordados temas estratégicos para a efetividade dos projetos desta natureza. De acordo com as diretrizes propostas pela Ser-International (2004) e considerando as lacunas de conhecimento dos ambientes de formações ferríferas, foram selecionados os seguintes temas de interesse que foram abordados em três capítulos nessa tese:

- Identificação das formações vegetais dos ambientes rupestres associados a substratos ferruginosos. Esta identificação implica ainda no reconhecimento de outras fitofisionomias presentes no território, associadas a rochas encaixantes (quartzitos e filitos).
- Avaliação da evolução de abordagens experimentais de restauração de campo rupestre instaladas em 2009 por meio de operações de resgate de plantas e de *topsoil*.
- Caracterização do comportamento térmico do solo em áreas naturais, identificado como fator determinante na definição de estratégias de restauração das formações vegetais dos ambientes rupestres associados a substratos ferruginosos.

Referências Bibliográficas

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2nd. Viçosa, MG: Editora UFV, 2004. 442

CARMO, F. F. **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**. . 2010. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre). Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CLARKE, S. M.; CRISTESCU, S. M.; MIERSCH, O.; HARREN, F. J. M.; WASTERACK, C.; MUR, L. A. J. Jasmonates act with salicylic acid to confer basal thermotolerance in *Arabidopsis thaliana*. **New Phytologist**, v. 182, n. 1, p. 175-187, 2009. ISSN 1469-8137. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02735.x> >.

- GAFF, D. Desiccation tolerant plants in South America. **Oecologia**, v. 74, n. 1, p. 133-136, 1987. ISSN 0029-8549.
- GARDONI, L. C. D. P.; ISAÍAS, R. M. D. S.; VALE, F. H. A. Morfologia e anatomia foliar de três morfotipos de *Marcetia taxifolia* (A. St.-Hil.) DC. (Melastomataceae) na Serra do Cipó, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 3, p. 487-500, 2007.
- HARTUNG, W.; SCHILLER, P.; DIETZ, K.-J. Physiology of poikilohydric plants. In: (Ed.). **Progress in botany**: Springer, 1998. p.299-327. ISBN 3642804489.
- HONG, S.-W.; VIERLING, E. Mutants of *Arabidopsis thaliana* defective in the acquisition of tolerance to high temperature stress. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 97, n. 8, p. 4392-4397, 2000. ISSN 0027-8424.
- JACOBI, C.; CARMO, F. Diversidade dos campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, MG. **Megadiversidade**, v. 4, n. 1-2, p. 24-32, 2008.
- JACOBI, C. M.; CARMO, F. F. D.; VINCENT, R. D. C. Estudo fitossociológico de uma comunidade vegetal sobre canga como subsídio para a reabilitação de áreas mineradas no Quadrilátero Ferrífero, MG. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2, p. 345-353, 2008.
- JACOBI, C. M.; DO CARMO, F. F.; VINCENT, R. C.; STEHMANN, J. R. Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. **Biodiversity and Conservation**, v. 16, n. 7, p. 2185-2200, 2007. ISSN 0960-3115.
- KOLBEK, J.; ALVES, R. Impacts of cattle, fire and wind in Rocky Savannas, Southeastern Brazil. **Acta Universitatis Carolinae Environmentalica**, v. 22, p. 111-130, 2008.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2000. 531
- NUNES, J. **Florística, estrutura e relações solo-vegetação em gradient fitofisionômico sobre canga, na Serra Sul, FLONA de Carajás-Pará**. 2009. Universidade Federal de Viçosa
- RIZZINI, C. T. **Tratado de Fitossociologia do Brasil. Aspectos Sociológicos e Florísticos**. São Paulo: 1979. 374 p.
- SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; MENDONÇA, B. A. F.; RIBEIRO, A. S. S.; FERRERIA JUNIOR, W. G.; NUNES, J. A.; CÔRREA, G. R. **Geodiversidade dos ambientes de canga na Região de Carajás, Pará**. Vale do Rio Doce, p.75 p. 2007

- SER-INTERNATIONAL. Princípios da SER International sobre a restauração ecológica., Tucson, 2004. Disponível em: < <http://www.ser.org/docs/default-document-library/ser-primer-portuguese.pdf> >.
- SILVA, I. A.;BATALHA, M. A. Phylogenetic structure of Brazilian savannas under different fire regimes. **Journal of Vegetation Science**, v. 21, n. 6, p. 1003-1013, 2010. ISSN 1654-1103.
- TAIZ, L.;ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3rd. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719
- VIANA, P. L.;LOMBARDI, J. A. Florística e caracterização dos campos rupestres sobre canga na Serra da Calçada, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, v. 58, n. 1, p. 159-177, 2007.
- VINCENT, R. Florística, fitossociologia e relações entre a vegetação eo solo em áreas de campos ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **São Paulo: Universidade de São Paulo**, 2004.
- WHELAN, R. J. **The ecology of fire**. Cambridge University Press, 1995. ISBN 0521328721.
- ZAPPI, D.;TAYLOR, N. Diversidade e endemismo das Cactaceae da Cadeia do Espinhaço. **Megadiversidade**, v. 4, p. 111-116, 2008.

Capítulo 1

Identificação e mapeamento de fitofisionomias do complexo rupestre no Quadrilátero Ferrífero (QF) por meio de classificação supervisionada.

Resumo

REZENDE, Lina Andrade Lobo de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2013. **Identificação e mapeamento de fitofisionomias do complexo rupestre no Quadrilátero Ferrífero (QF) por meio de classificação supervisionada.** Orientador: Luiz Eduardo Dias. Coorientadores: Elpídio Inácio Fernandes Filho e Igor Rodrigues de Assis.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os resultados da utilização da imagem GeoEye para mapear fitofisionomias do Complexo Rupestre por meio de classificação supervisionada em área inserida no Quadrilátero Ferrífero, MG. Foi utilizado o método de classificação supervisionada pelo algoritmo da máxima verossimilhança (MaxVer) utilizando composição das bandas da imagem GeoEye, o índice NDVI e a primeira componente das componentes principais (PCA1). Foram definidas as seguintes classes de cobertura vegetal: Campo Rupestre Ferruginoso, Campo Rupestre Arbustivo, Formações Florestais, Campo Limpo e Campo Rupestre Quartzítico. Em função da grande confusão apresentada pelo classificador em separar as classes Campo rupestre arbustivo, Formações florestais, Campo limpo estas foram individualizadas em três classes distintas, independente dos substratos a que estavam associados (ferruginoso, quartzito e filito). A avaliação do mapa temático produzido pela classificação supervisionada foi realizada por meio dos índices Kappa e Kappa condicional e pela análise da matriz de confusão. A matriz de confusão indicou a sobreposição de algumas classes sendo as classes Campo Limpo e Campo rupestre quartzítico as que apresentaram os menores índices Kappa condicionais. Os resultados indicaram que classificação pelo algoritmo da MaxVer apresentou bons resultados alcançando valor de índice Kappa de 0,87. Isso indica que as imagens GeoEye tem potencial para serem utilizadas para a separação das fitofisionomias que ocorrem no mosaico de vegetação que compõe o Complexo Rupestre. Esse mapa foi sobreposto ao mapa geológico de Dorr (1969), considerando-se as adaptações de UFMG/CODEMIG e Minas Gerais (2005), para complementar a separação das classes Campo rupestre arbustivo, Campo limpo e Formações florestais em função do substrato (ferruginoso ou não ferruginoso). A partir do mapa temático final, foi possível além da indicação espacial das diferentes fitofisionomias, realizar sua quantificação de forma a dimensionar as demandas de compensação ambiental bem como a indicação de áreas similares para sua locação.

Abstract

REZENDE, Lina Andrade Lobo de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, october, 2013. **Identification and mapping of vegetation types of the rock complex Quadrangle (QF) by means of supervised classification.** Adviser: Luiz Eduardo Dias. Co-advisers: Elpídio Inácio Fernandes Filho and Igor Rodrigues de Assis.

This study aimed to evaluate the use of the image GeoEye to map vegetation types of the rocky fields complex from supervised classification. For this, we performed the mapping of an area known as Vargem Grande Complex located in the Iron Quadrangle, MG. We evaluated the supervised classification method by using the algorithm maxima verossimilhança (MaxVer) using composition of bands GeoEye image, the NDVI index and the first component of the principal components (PCA1). The classes of vegetations defined, subdivided according to the type of substrate, were: Rocky field on ferruginous substrate, Scrubby rocky field, Forest Formations, Grassland and Rocky field on quartzite. Scrubby rocky field, Forest Formations and Grassland associated with different substrates (ferruginous, quartzite and phyllite) were grouped into three classes due to the great confusion presented by the classifier to separate these features from the image sensor. The evaluation of the thematic map produced was performed using the Kappa index and Kappa conditional and by the analysis of the confusion matrix. The confusion matrix indicated the overlap of some classes, especially Scrubby rocky field, Grassland Rocky field on quartzite, which had the lowest conditional Kappa. The results indicated that the classification using MaxVer algorithm showed good results reaching Kappa index value of 0.87. This indicates that the images GeoEye has the potential to be used for the separation of vegetation types that occur in the mosaic vegetation that makes up the Rocky Complex. This map was superimposed on the geological map of Dorr (1969), considering the adaptations UFMG / CODEMIG and Minas Gerais (2005), which allowed the separation of the grouped classes grouped according to the type of substrate. Through the final thematic map, it was possible beyond of the spatial indication of different vegetation types, quantify their areas, so that forecast the scale demands of environmental compensation and indication of similar areas to their location.

1. Introdução

O Quadrilátero Ferrífero (QF) abrange uma área de aproximadamente 7.000 km², centrada nas coordenadas 20° 15' e 43° 30' (Dorr, 1969). Essa região possui certa semelhança geológica com a Serra dos Carajás, no Pará, pois em ambos encontra-se uma cobertura de canga secundária, sobre saprolitos de rochas ferruginosas, na forma de produtos da alteração de itabiritos (QF) ou jaspilitos ferríferos (Carajás).

Associados a esses substratos ferruginosos ocorre gradiente de vegetação que varia desde formação campestre a formação florestal. A variação da cobertura vegetal está associada a fatores edafoclimáticos como natureza do substrato, topografia, profundidade do solo e microclima. A estreita associação entre a lavra de minério de ferro e as fitofisionomias que ocorrem no Complexo Rupestre sobre canga coloca-as em situação de vulnerabilidade. Segundo Carmo (2010) a mineração é a principal causa de perdas de áreas de canga nos últimos 40 anos seguida pelos núcleos urbanos.

A proteção da biodiversidade é assegurada por leis que estabelecem a compensação ambiental na forma de preservação ou recuperação de área equivalente à área impactada. Se consideradas a Lei da Mata Atlântica (Lei Federal 11.428-2006), Lei Estadual Florestal de Minas Gerais (Lei Estadual Nº 20.922-2013) e a Resolução CONAMA 369/06, que trata das áreas de proteção permanente - APP, pode-se chegar a uma relação de área de 3:1 pela compensação por intervenção em vegetação nativa. A realização do mapeamento das fitofisionomias permite, além de sua delimitação espacial, sua quantificação, contribuindo para o dimensionamento das demandas de compensação ambiental bem como a indicação de áreas similares para sua locação.

A Ser-International (2004) define restauração ecológica como o processo de auxílio ao restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído. Dentre os procedimentos descritos pela Ser-International (2004) para elaborar projetos de restauração, inclui-se etapa de identificação e caracterização do tipo de ecossistema a ser restaurado. O mapeamento de áreas naturais fornece informações que permitem a identificação da natureza dos ambientes alterados e o contexto ambiental de sua inserção. A espacialização do ambiente alvo também permite a delimitação de ecossistemas de referência, que são imprescindíveis para o planejamento de um projeto de restauração ecológica e podem servir para sua avaliação.

O mapeamento através da classificação de imagens implica na implementação de um processo de decisão em que um algoritmo atribui a certo conjunto de pontos da imagem (pixels) uma determinada classe. Tais procedimentos tornam o processo de mapeamento ou reconhecimento de características da superfície terrestre menos subjetivo e com maior potencial de repetição em situações subseqüentes (Novo, 1992).

A classificação de imagens pode ser supervisionada ou não supervisionada. Na classificação supervisionada admite-se conhecida a classe que gerou cada padrão na amostra de modelação. O classificador é treinado para replicar a decisão correta para novas amostras. Na classificação não supervisionada os padrões de treino não se encontram classificados e os algoritmos têm que encontrar uma estrutura nos dados que permita dividi-los em grupos (Rebouças *et al.*, 2011).

A utilização de classificação supervisionada para extrair informações de imagens é uma prática já bastante utilizada. Entretanto, ainda são raros os trabalhos que utilizam imagens de alta resolução para realizar mapeamento de cobertura vegetal. O objetivo desse estudo é avaliar a utilização da imagem GeoEye para o mapeamento de fitofisionomias do complexo rupestre por meio de classificação supervisionada.

2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo

A área mapeada é denominada Complexo Vargem Grande e está inserida no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Trata-se de um complexo de minerações pertencentes à empresa Vale localizada nos municípios de Rio Acima e Nova Lima distante 26 km de Belo Horizonte.

O clima da região de acordo com a classificação de Köppen é do tipo Cwa, com chuvas de verão, verões quentes e invernos secos, temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C e temperatura média do mês mais frio inferior a 18 °C (Antunes, 1986).

2.2. Descrição das fitofisionomias estudadas

2.2.1. Campo rupestre ferruginoso

Esta fitofisionomia é formada predominantemente por formação herbácea arbustiva associada a afloramentos rochosos hematíticos e solos rasos. Os indivíduos arbustivos ocorrem preferencialmente nas fendas das rochas e em pequenos bolsões de solo que se formam nas fraturas das rochas.

Dentre o estrato herbáceo se destacam as famílias Poaceae (*Axonopus conduplicatus* G.A.Black, *Axonopus siccus* Kuhl., *Panicum subulatum* Spreng., *Panicum wettsteinii* Hack., *Paspalum pilosum* Lam.), Velloziaceae (*Barbacenia flava* Mart. exSchult., *Vellozia albiflora* Pohl., *Vellozia graminea* Pohl., *Vellozia tragacantha* Mart. Ex Seub.), Cyperaceae (*Bulbostylis eleocharoides* Kral & M.T.Strong, *Lagenocarpus rigidus* (Kunth.) Nees, *Rhynchospora consanguinea* (Boeckeler), *Rhynchospora exaltata* C.B.Clarke in Urb., *Rhynchospora setigera* (Griseb.)).

Em áreas com maior adensamento do componente arbustivo predominam as famílias Asteraceae (*Baccharis dracunculifolia* DC., *Baccharis reticularia* DC., *Dasyphyllum*

sprengelianum (Gardner.) Cabrera, *Lychnophora pinaster* Mart., *Lychnophora syncephalla* Sch.Bip., *Pseudobrickellia angustissima* (Spreng. ex Baker) R.M.King&H.Rob.) Myrtaceae (*Calyptranthe spulchella* DC., *Myrcia amazonica* DC.), e Melastomataceae (*Tibouchina heteromalla* Cogn., *Miconia corallina* Spring ex Mart. *Miconia cinnamomifolia* Naudin.) (Fernandes Filho *et al.*, 2013).

2.2.2. Campo rupestre arbustivo

Esta fitofisionomia ocorre em áreas onde a canga se apresenta mais fragmentada, com maior volume de solo que em áreas de Campos Rupestres Ferruginosos. Dessa forma, predominam indivíduos arbustivos de porte limitado devido à reduzida profundidade do solo.

As principais famílias observadas foram Myrtaceae (*Eugenia sonderiana* O.Berg., *Myrcia eriocalyx* DC., *Psidium robustum* O.Berg.), Fabaceae (*Abarema brachystachya* (DC.), *Bauhinia rufa* (Graham), *Chamaecrista mucronata* (Spreng.)), Euphorbiaceae (*Croton comosus* Müll.Arg., *Sebastiania glandulosa* (Mart.) Pax.), Lauraceae (*Cinnamomum quadrangulum* Kosterm., *Ocotea percoriacea* Kosterm., *Ocotea atristis* Mart. exNees.) (Fernandes Filho *et al.*, 2013).

2.2.3. Campo limpo

Esta fitofisionomia apresenta predominantemente estrato herbáceo que fornece ampla cobertura do solo. Em algumas áreas ocorrem indivíduos lenhosos isolados.

2.2.4. Formações florestais

Nesta classe estão agrupadas todas as fitofisionomias florestais identificadas na área, sendo composta principalmente pelos chamados Capões Florestais de Altitude e Floresta Estacional Semidecidual. Se destacam as famílias Myrtaceae (*Eugenia cerasiflora* Kurz, *Eugenia sonderiana* O.Berg., *Myrcia amazonica* DC., *Siphoneugena kiaerskoviana* (Burret) Kausel), Fabaceae (*Copaifera langsdorffii* Desf., *Dalbergia villosa* Benth., *Machaerium brasiliense* (Vogel), *Stryphnodendron polyphyllum* Mart.) e Lauraceae (*Ocotea bicolor* Vattimo-Gil, *Ocotea percoriacea* Kosterm.)(Fernandes Filho *et al.*, 2013).

2.2.5. Campo rupestre quartzítico

Assim como os Campos Rupestres Ferruginosos, esta fitofisionomia é formada predominantemente por formação herbáceo arbustiva, porém associada a afloramentos rochosos quartzíticos e solos rasos. Os indivíduos arbustivos ocorrem preferencialmente nas fendas das rochas e em pequenos bolsões de solo que se formam nas fraturas das rochas.

Destacam-se as famílias Asteraceae, Poaceae, Melastomataceae, Cyperaceae, Myrtaceae, Fabaceae e as espécies *Vellozia compacta*, *Eremanthus erythropappus*,

Tibouchina heteromalla, Eremanthus incanus, Baccharis reticularia, Lyncophora pinaster (Messias *et al.*, 2012).

2.3. Base de dados

O estudo foi realizado a partir de uma imagem GeoEye fornecida pela empresa VALE produzida em 31/07/2011 recobrando 100 % da área do Complexo Vargem Grande. As principais características da imagem GeoEye encontram-se na Tabela 1.

Para a classificação supervisionada da imagem foi utilizado o classificador de máxima verossimilhança (MaxVer) e uma composição formada pelas bandas multiespectrais da imagem GeoEye, a primeira componente principal das bandas da imagem (PCA1) e o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI).

O NDVI foi calculado a partir da expressão:

$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)}$$

em que: NIR = reflectância da faixa de infra-vermelho (0,760 a 0,900 μ m) e VIS = reflectância da faixa do visível (0,625 a 0,695 μ m).

Tabela 1. Características do sensor do satélite GeoEye-1

| | |
|--------------------------------------|--|
| Resolução Espacial | 0.41m (Pancromático) e 1.64m (Multispectral) |
| Resolução Espectral (PAN) | 450-900 nm |
| Resolução Espectral (Multiespectral) | Azul: 450-520 nm |
| | Verde: 520-600 nm |
| | Vermelho: 625-695 nm |
| | Infra Vermelho: 760-900 nm |
| Faixa imageada | 15,2 km |
| Inclinação visada lateral | até 60 Graus |
| Resolução radiométrica | 11 bits |
| Vida útil | > 10 anos |
| Capacidade de revisita | 3 dias ou menos |
| Altitude | 684 km |

Fonte: GEOEYE, 2011.

2.4. Seleção e validação das amostras de treinamento

O treinamento dos algoritmos MaxVer foi dividido em duas etapas: definição das classes temáticas de uso do solo e coleta de amostras de treinamento.

As classes temáticas para mapeamento foram definidas levando-se em consideração as características de resposta espectral dos alvos de interesse, a observação em campo da representatividade das classes e a capacidade da imagem utilizada neste estudo em separar feições. A área em estudo foi extensamente percorrida tendo suas feições de uso registradas por fotografias e pontos de controle terrestre coletados com aparelho GPS de navegação.

Nas campanhas de campo foram descritos 375 pontos visando gerar amostras de treinamento e 196 pontos utilizados como amostra de validação para a classificação. Para cada ponto obtido por GPS, foram anotadas as seguintes informações:

- Número de identificação do ponto;
- Fitofisionomia: Classe de uso e ocupação do solo;
- Litologia: tipo de rocha;
- Tipo de relevo.

Para extração das amostras de treinamento utilizou-se polígonos de formas quadradas e retangulares como forma de evitar excesso de vértices na amostra (Campbell, 2002). O número de pixels em cada amostra de treinamento variou entre 324 e 900 pixels.

2.5. Classificação supervisionada

A classificação supervisionada da imagem GeoEye foi realizada por meio do algoritmo da máxima verossimilhança (MaxVer). Esse algoritmo computa a probabilidade de um determinado pixel pertencer a cada classe temática determinada pelo usuário na fase de treinamento do classificador. A classificação pelo Maxver foi implementada utilizando-se a interface do software ArcGis 10.

Foram separadas as seguintes classes de cobertura vegetal: Campo Rupestre Ferruginoso, Campo Rupestre Arbustivo, Formações Florestais, Campo Limpo e Campo Rupestre Quartzítico. Para cada uma destas fitofisionomias foram coletadas amostras de treinamento distintas em função do substrato (ferrífero, quartzito ou filitos), com base no levantamento geológico de Dorr (1969), considerando-se as adaptações de UFMG/CODEMIG e Minas Gerais (Lobato *et al.*, 2005). Os Campos Rupestres Arbustivos, os Campos Limpos e as Formações Florestais foram individualizadas em três classes distintas, independente dos substratos a que estavam associados (ferruginoso, quartzito e filito). Esse procedimento foi adotado devido a grande confusão apresentada pelo classificado em separar tais classes a partir da imagem do sensor. Foram coletados também pontos em solo exposto e lagos. Para as classes Campo rupestre ferruginoso, Campo rupestre arbustivo, Campo limpo, Formações florestais, Solo exposto, Campo rupestre quartzítico e Corpos d'água foram coletados respectivamente 50, 44, 30, 30, 40, 40 , 35 e 20 amostras de treinamento.

As classes de áreas urbanas e áreas de mineração não foram incluídas na classificação supervisionada, sendo incluídas após o processamento final dos dados. Estas classes foram agrupadas na classe Áreas Antropizadas.

2.6. Avaliação da exatidão da classificação

A matriz de confusão foi gerada a partir da tabulação cruzada entre o mapa temático produzido pela classificação e os 196 pontos de validação coletados em campo.

A verificação dos erros provenientes do processo de classificação, e a avaliação da exatidão dos dados obtidos pelo mapeamento temático foram realizadas utilizando coeficientes extraídos da matriz de confusão, em especial os índices Kappa e Kappa Condicional. A interpretação do nível de exatidão relacionada ao valor do índice Kappa foi feita de acordo com Landis e Koch (1977) e é apresentada na tabela 2.

Tabela 2. Classificação do mapa temático, por sua exatidão, segundo o valor do coeficiente Kappa.

| Coeficiente Kappa (K) | Classificação do mapa temático |
|------------------------------|---------------------------------------|
| $K \leq 0,2$ | Ruim |
| $0,2 < K \leq 0,4$ | Razoável |
| $0,4 < K \leq 0,6$ | Bom |
| $0,6 < K < 0,8$ | Muito bom |
| $K \geq 0,8$ | Excelente |

2.7. Sobreposição do mapa temático de uso e ocupação do solo com o mapa geológico

O mapa temático de uso e ocupação do solo elaborado por meio de classificação supervisionada utilizando o classificador MaxVer foi sobreposto ao mapa de levantamento geológico de (Dorr, 1969), considerando-se as adaptações de UFMG/CODEMIG e Minas Gerais (Lobato *et al.*, 2005). O objetivo da sobreposição foi complementar a separação das classes Campo rupestre arbustivo, Campo limpo e Formações florestais em função do substrato (ferruginoso ou não ferruginoso).

3. Resultados

A Figura 1 apresenta o mapa temático de uso e ocupação do solo da área denominada Complexo Vargem Grande produzido a partir da classificação supervisionada da composição de todas as bandas da imagem GeoEye, do índice NDVI e da primeira componente das componentes principais (PCA1).

Na tabela 4 são apresentados os Índices Kappa condicionais para as classes de vegetação mapeadas.

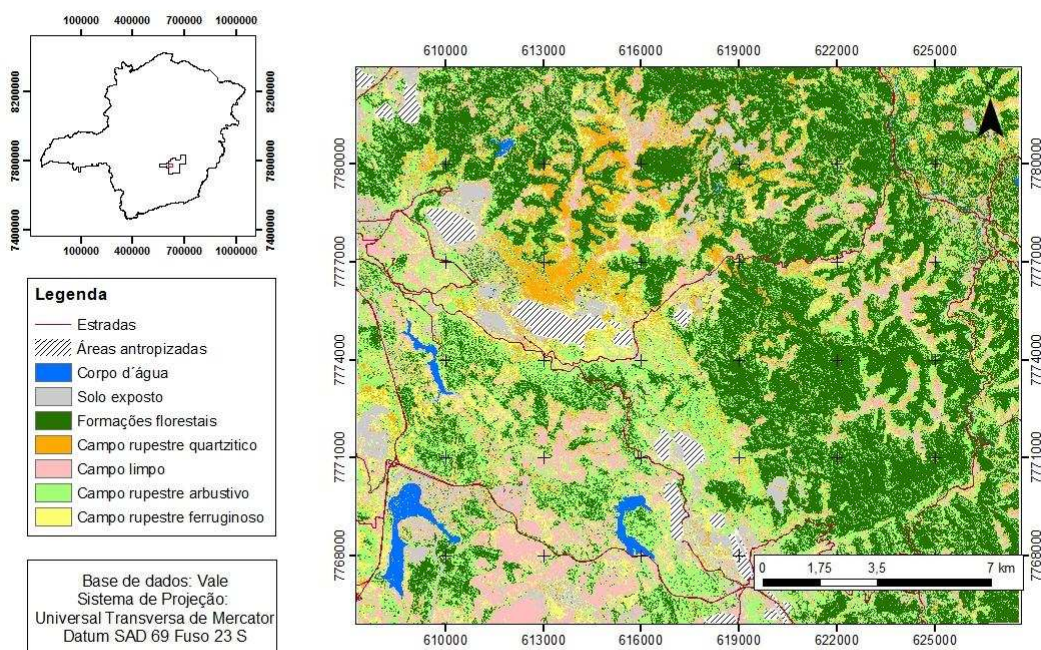


Figura 1. Mapa temático de uso e ocupação do solo da área denominada Complexo Vargem Grande produzido a partir da classificação supervisionada da composição de todas as bandas da imagem GeoEye, do índice NDVI e da primeira componente das componentes principais (PCA1).

A Classificação supervisionada da imagem GeoEye utilizando o classificador MaxVer apresentou valor de Índice Kappa de 0,87. A matriz de confusão é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Matriz de confusão da classificação da composição envolvendo as bandas multiespectrais da imagem GeoEye, o índice NDVI e a PCA1.

| Nome da Classe | CRF | CA | SE | CRA | FF | CL | CRQ |
|----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| CRF | 29.499 | 0 | 1.457 | 1.685 | 0 | 536 | 2.111 |
| CA | 0 | 226.980 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SE | 477 | 2.021 | 62.012 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CRA | 2.987 | 316 | 1.675 | 16.020 | 2.851 | 174 | 741 |
| FF | 3 | 18 | 0 | 131 | 59.419 | 0 | 0 |
| CL | 3.003 | 0 | 11.417 | 47 | 0 | 5.548 | 74 |
| CRQ | 0 | 0 | 5.222 | 167 | 0 | 0 | 2.027 |

Onde, CRF = Campo rupestre ferruginoso; CA = Corpos d'água; SE = Solo exposto; CRA = Campo rupestre arbustivo; FF = Formações florestais; CL = Campo Limpo; CRQ = Campo Rupestre Quartzítico.

Tabela 4. Índices Kappa Condicional calculados a partir da classificação supervisionada pelo algoritmo da máxima verossimilhança

| Nome da Classe | Kappa |
|----------------------------|-------|
| Campo rupestre ferruginoso | 0,82 |
| Corpo d'água | 1,00 |
| Solo exposto | 0,95 |
| Campo arbustivo | 0,63 |
| Formações florestais | 1,00 |
| Campo limpo | 0,27 |
| Campo rupestre quartzítico | 0,27 |

A sobreposição do mapa temático elaborado a partir da classificação supervisionada da imagem GeoEye e o mapa geológico de Dorr (1969), considerando-se as adaptações de UFMG/CODEMIG e Minas Gerais (Lobato *et al.*, 2005), permitiu gerar um mapa final com maior nível de detalhamento e valor de Índice Kappa de 0,77 e apresentado na Figura 2.

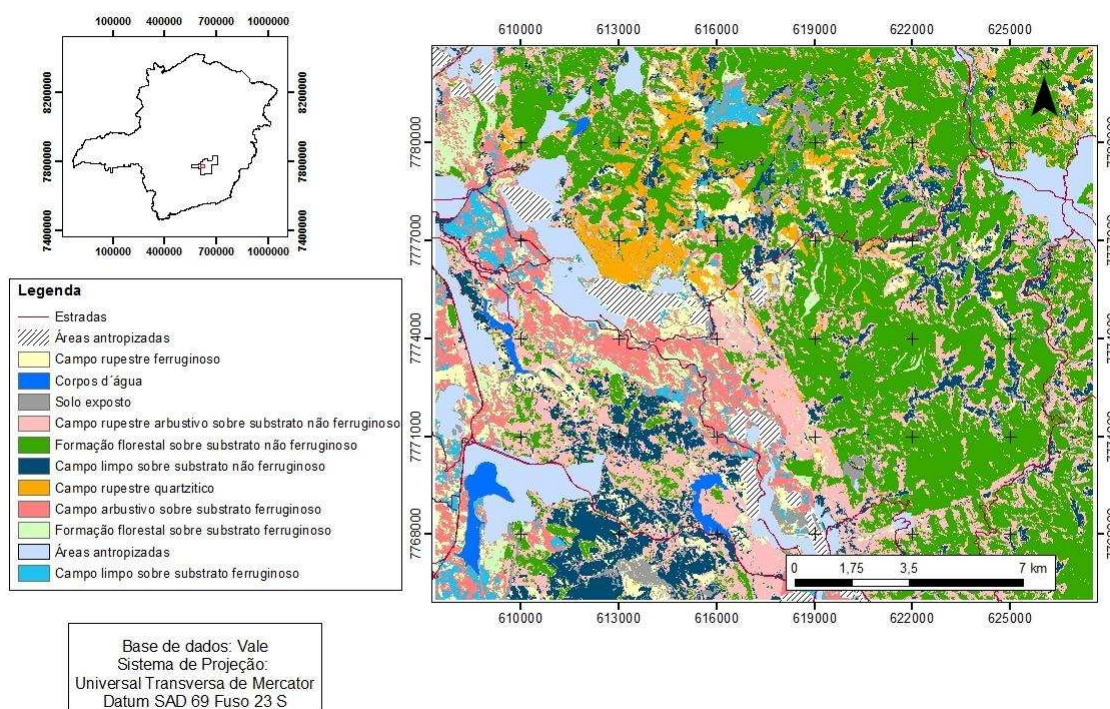


Figura 2. Mapa temático final de uso e ocupação do solo da área denominada Complexo Vargem Grande produzido a partir da sobreposição do mapa elaborado pela classificação supervisionada e mapa geológico de Dorr (1969), considerando-se as adaptações de UFMG/CODEMIG e Minas Gerais (Lobato, 2005).

A partir mapa temático final, foi possível extrair informações a respeito da distribuição e da dimensão das classes de uso de solo predominante na área de estudo. As áreas de

ecossistemas desenvolvidos sobre substratos ferruginosos recobrem 5.633 ha (16,64%) da área mapeada. As fitofisionomias de maior representatividade são o Campo Rupestre Arbustivo (2.055 ha), Campo Rupestre Ferruginoso (1.974 ha) e Campo Limpo (811 ha) (Tabela 5).

Tabela 5. Área total e relativa para cada fitofisionomia mapeada na área do Complexo Vargem Grande através do mapa final produzido a partir da sobreposição do mapa elaborado pela classificação supervisionada e mapa geológico.

| Fitofisionomias | Área | | % em relação ao total |
|----------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------|
| | ha | km ² | |
| Substrato ferruginoso | | | |
| Campo rupestre ferruginoso | 1.973,95 | 19,74 | 5,83 |
| Campo rupestre arbustivo | 2.055,27 | 20,55 | 6,07 |
| Formações florestais | 792,80 | 7,93 | 2,34 |
| Campo limpo | 811,34 | 8,11 | 2,40 |
| Subtotal | 5.633,36 | 56,33 | 16,64 |
| Substrato não ferruginoso | | | |
| Campo rupestre quartzítico | 1.522,29 | 15,22 | 4,50 |
| Campo rupestre arbustivo | 6.764,90 | 67,65 | 19,98 |
| Formações florestais | 11.601,63 | 116,02 | 34,27 |
| Campo limpo | 2.964,81 | 29,65 | 8,76 |
| Subtotal | 22.853,63 | 228,54 | 67,50 |
| Outras classes | | | |
| Áreas antropizadas | 3.499,16 | 34,99 | 10,33 |
| Corpos d'água | 364,57 | 3,65 | 1,08 |
| Solo exposto | 1.507,22 | 15,07 | 4,45 |
| Subtotal | 5.370,95 | 53,71 | 15,86 |
| Total geral | 33.857,94 | 338,58 | 100,00 |

4. Discussão

De acordo com Landis e Koch (1977) o valor de Kappa obtido para a classificação da imagem GeoEye por meio da classificação supervisionada utilizando o algoritmo MaxVer é excelente. Esse resultado representado na Figura 1 indica que as classes de vegetação foram separadas satisfatoriamente pelo método utilizado, porém não permitiu a separação em função do substrato (ferruginoso e não ferruginoso) para as fitofisionomias Campo Rupestre Arbustivo, Campo Limpo e Formações Florestais. A dificuldade em separá-las está

relacionada ao fato de que na imagem não é possível identificar o substrato sob a vegetação. Nestes casos, a classificação foi apenas com base nas características espectrais da vegetação, que varia muito pouco em função do tipo de substrato.

A partir da análise da matriz de confusão gerada pela tabulação cruzada entre o mapa temático produzido pela classificação e os 196 pontos de validação coletados em campo (Tabela 3), nota-se algumas sobreposições entre classes fitofisionômicas. O campo rupestre ferruginoso com Kappa condicional elevado (0,82) apresenta maior confusão com o campo rupestre quartzítico. Apesar da semelhança de seu padrão espectral, a utilização da composição das bandas da imagem, NDVI e PCA1 para a classificação supervisionada possibilitou a separação dessas feições. Essas fitofisionomias apresentam formação predominantemente herbácea com indivíduos arbustivos isolados com baixa cobertura do solo, sendo a resposta espectral do substrato fator importante para separá-las.

O Campo Rupestre Arbustivo com Kappa condicional intermediário (0,63) apresentou maior confusão com o Campo Rupestre Ferruginoso e as Formações Florestais. Trata-se de uma fitofisionomia com cobertura de solo intermediária e com resposta espectral de sua vegetação semelhante às Formações Florestais.

As Formações Florestais com Kappa condicional máximo (1) não apresentaram confusão com qualquer outra fitofisionomia ou demais usos de solo.

O Campo Limpo apresentou juntamente com o Campo Rupestre Quartzítico, os menores valores de Índice Kappa condicional (0,26) sendo que ambos apresentam maior confusão com a classe solo exposto. Os pontos de coleta das amostras de validação para solo exposto não levaram em consideração o tipo de substrato, podendo justificar a confusão com diferentes feições.

A sobreposição do mapa temático produzido pela classificação supervisionada com o mapa geológico de Dorr (1969), considerando-se as adaptações de UFMG/CODEMIG e Minas Gerais (Lobato *et al.*, 2005), permitiu separar as classes Campo rupestre arbustivo, Campo Limpo e Formações florestais em função do tipo de substrato (ferruginoso e não ferruginoso). Em mapeamento de uso e ocupação do solo no Quadrilátero Ferrífero utilizando imagens Aster, Fernandes Filho *et al.* (2013) utilizaram classes gamaespectrais do sensor para complementar a separação de substratos ferríferos dos não ferríferos. Esse procedimento foi adotado para as formações arbustivas, florestais e Cerrado *Stricto Sensu*, visto que nestes casos, devido ao porte da vegetação não é recomendado o uso da imagem Aster para obter respostas espectrais do substrato.

A intervenção ambiental nessas áreas ocasiona a perda da biodiversidade porém, a exploração não deve ser feita em toda sua extensão, devendo ser otimizadas as áreas para preservação "*in situ*" através da conciliação entre os limites dos projetos minerários e os interesses de preservação da biodiversidade. Além disso, a legislação estabelece a

compensação ambiental na forma de preservação ou recuperação de área equivalente, podendo chegar a uma relação de 3:1 da área impactada. O mapeamento do uso e ocupação do solo de áreas do Quadrilátero Ferrífero considerando os tipos de substrato associados às classes de vegetação permite a delimitação espacial das diferentes fitofisionomias, e a sua quantificação, tornando-se importante ferramenta de planejamento para conciliação das atividades minerárias e os programas de proteção da biodiversidade. Permite ainda estabelecer com maior clareza as demandas de compensação ambiental, a definição de áreas para proteção “*in situ*” e a indicação de áreas aptas a receber projetos de restauração ambiental.

5. Conclusões

- A classificação supervisionada da composição de todas as bandas da imagem, NDVI e PCA1, apresentou os bons resultados para mapeamento do uso do solo (Índice Kappa = 0,87), indicando possibilidade de sua aplicação na etapa de planejamento de programas de restauração ambiental.
- Não foi possível separar os Campos Rupestres Arbustivos, os Campos Limpos e as Formações Florestais associados a diferentes tipos de substrato através da classificação supervisionada da imagem GeoEye, indicando necessidade de detalhamento através da combinação com o mapeamento geológico.
- A sobreposição do mapa temático elaborado a partir da classificação supervisionada da imagem GeoEye e o mapa geológico de Dorr (1969), considerando-se as adaptações de UFMG/CODEMIG e Minas Gerais (Lobato *et al.*, 2005) apresentou bons resultados para mapeamento do uso do solo (Kappa = 0,77) o que permitiu gerar um mapa final com maior nível de detalhamento.
- O mapeamento das fitofisionomias do complexo rupestre ferruginoso permite uma avaliação regional dos ambientes estabelecendo as bases para um programa de proteção da biodiversidade contemplando ainda ações de preservação *in situ* e de conciliação com projetos minerários.

6. Referências Bibliográficas

- ANTUNES, F. Z. Caracterização climática do estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v. 12, n. 138, p. 9-13, 1986.
- CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing**. New York: Taylor & Francis, 2002. 551 p. ISBN 0415282942.
- CARMO, F. F. **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**. . 2010. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre). Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- DORR, J. V. N. I. Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **US Geological Survey Professional Paper**, v. 641-A, p. 110 p., 1969.
- FERNANDES FILHO, E. I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SANTOS, L. M. **Mapeamento dos usos e coberturas do solo desenvolvidos sobre substratos ferrífero no Quadrilátero Ferrífero (MG) e identificação de fitofisionomias através da utilização de imagens Aster**. Vale. Belo Horizonte, MG. 2013
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159-174, 1977. ISSN 0006-341X.
- LOBATO, L. M.; BALTAZAR, O. F.; REIS, L. B.; ACHTSCHIN, A. B.; BAARS, F. J.; TIMBÓ, M. A.; BERNI, G. V.; MENDONÇA, B. R. V. D.; FERREIRA, D. V. Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero-Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa. **Belo Horizonte: CODEMIG. DVD**, 2005.
- MESSIAS, M. C. T. B.; LEITE, M. G. P.; MEIRA-NETO, J. A. A.; KOZOVITS, A. R. Fitossociologia de campos rupestres quartzíticos e ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, p. 230-242, 2012. ISSN 0102-3306. Disponível em: <
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062012000100022&nrm=iso >.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 308 p.
- REBOUÇAS, S. P.; SOUZA, L.; PIRES, A. **Metodologias de classificação supervisionada para análise de dados de microarrays**. 2011. 25 p. (Doutorado). Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.

SER-INTERNATIONAL. Princípios da SER International sobre a restauração ecológica., Tucson, 2004. Disponível em: < <http://www.ser.org/docs/default-document-library/ser-primer-portuguese.pdf> >.

Capítulo 2

Restauração ecológica de Campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, MG

Resumo

REZENDE, Lina Andrade Lobo de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2013. **Restauração ecológica de Campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, MG.** Orientador: Luiz Eduardo Dias. Coorientadores: Elpídio Inácio Fernandes Filho e Igor Rodrigues de Assis.

A estreita associação entre a lavra de minério de ferro e os campos rupestres ferruginosos levou esta formação a uma condição especial de vulnerabilidade. Em atendimento à legislação federal e estadual e a condicionantes de licenciamento de empreendimentos de mineração, a utilização de plantas provenientes de resgate da flora e do *topsoil* em programas de restauração se tornou obrigatória. Nesse sentido, os resultados obtidos em áreas em restauração são extremamente importantes para comprovar sua efetividade e definir técnicas de manejo mais adequadas para garantir a conservação da biodiversidade desses ambientes. Esse capítulo apresenta os resultados de experimento montado na mina de Capão Xavier-CPX (Nova Lima, MG) onde foram estabelecidos tratamentos compostos a partir de combinações de duas espessuras de *topsoil* (20 e 40 cm) e quatro níveis de adubação. Em cada subparcela foi feito o plantio do mesmo número de plantas provenientes de operação de resgate seguindo o mesmo arranjo espacial. A avaliação dos tratamentos foi feita aos 10 e 49 meses do plantio pela quantificação da cobertura vegetal do *topsoil*, sobrevivência das plantas reintroduzidas e regeneração natural. Aos 49 meses foi realizada análise fitossociológica do *topsoil*. As parcelas com 20 cm de espessura apresentaram menor porcentagem de cobertura vegetal nas duas avaliações realizadas comparativamente a espessura de 40 cm. A sobrevivência da comunidade de plantas introduzidas diminuiu ao longo do tempo, não sendo verificada diferença significativa em relação às espessuras de *topsoil* testadas. A identificação das espécies da regeneração natural indicou a presença de diversas espécies que ocorriam em áreas do entorno da mina e de empréstimo do *topsoil*, confirmando a efetividade de sua utilização e a capacidade dessas espécies em formar banco de sementes. Os resultados da fitossociologia indicaram que a contribuição das espécies invasoras na cobertura das parcelas possivelmente dificultou o estabelecimento e desenvolvimento das espécies nativas, sendo necessário realizar capinas seletivas para controle das invasoras. Os resultados obtidos indicam a necessidade de estudos de técnicas de manejo no viveiro e em campo, além de investimento no conhecimento da biologia reprodutiva das plantas.

Abstract

REZENDE, Lina Andrade Lobo de, D.Sc, Universidade Federal de Viçosa, october, 2013. **Ecological Restoration of Ferruginous rocky fields on Iron Quadrangle, MG.** Adviser: Luiz Eduardo Dias. Co-advisers: Elpídio Inácio Fernandes Filho and Igor Rodrigues de Assis.

The close association between the mining of iron and ferruginous rocky fields took this vegetation to a special condition of vulnerability. In compliance with federal and state legislation and licensing conditions of mining projects using plants from rescue and *topsoil* in restoration programs became obligatory. In this sense, the results obtained in reforested areas are extremely important to prove its effectiveness and define appropriate management techniques to ensure biodiversity conservation of these environments. This chapter presents the results of experiment mounted in Capão-Xavier-CPX mine (Nova Lima, MG) which were established treatments composed from combinations of two thicknesses of *topsoil* (20 and 40 cm) and four fertilizer levels. In each subplot we planted the same number of plants from rescue operation following the same spatial arrangement. The evaluation of the treatments were done at 10 and 49 months after planting by quantifying the vegetation cover of *topsoil*, plant survival and reintroduced by natural regeneration. At 49 months was conducted phytosociological analysis of *topsoil*. The plots of 20 cm showed a lower percentage of vegetation cover in the two assessments. The survival of the plant community introduced decreased over time, not significant compared to the thickness of *topsoil* tested. The identification of species from natural regeneration indicated the presence of several species occurring in areas surrounding the mine and the loan of *topsoil*, confirming the effectiveness of their use and the ability of these species to form seed bank. The results of phytosociology indicated that the contribution invasive species in the coverage of the plots can hinder the establishment and development of the native species, being necessary perform selective weeding control. The results indicate the need of studies on management in the nursery and in field, as well as investment in knowledge of the reproductive biology of plants.

1. Introdução

Em Minas Gerais as principais e mais bem documentadas ocorrências de canga estão localizadas no Quadrilátero Ferrífero (QF). A grande diversidade geológica e topográfica da região é um dos motivos para a existência da rica biodiversidade que justificou o reconhecimento do Quadrilátero Ferrífero como uma região de “importância biológica extrema” (Drummond *et al.*, 2005) e sua inserção dentro da Reserva da Biosfera da Cadeia do Espinhaço pela UNESCO em 2005.

São encontradas na região do Quadrilátero Ferrífero formações florestais (Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila), savânicas (Cerrado *sensu stricto*, campos sujos e campos limpos) e rupestres (Campo Rupestre sobre Quartzito, Campo Rupestre sobre Canga e, mais raramente, Campos sobre Afloramento Granítico) (Ataíde *et al.*, 2011). As fitofisionomias associadas aos substratos ferruginosos compõem o Complexo Rupestre sobre canga. Dentre essas fitofisionomias destacam-se os campos rupestres ferruginosos que segundo Viana e Filgueiras (2008) apresentam fisionomia variada e elementos florísticos característicos, com alto grau de endemismo que representam o centro de diversidade de diversos grupos vegetais. É consenso entre os pesquisadores a importância da conservação desses geossistemas para a preservação de espécies raras e endêmicas, cavernas, lagoas, sítios arqueológicos além da manutenção de importantes áreas de recarga hídrica.

A Constituição Federal de 1988 (Artigo 225) estabeleceu a obrigatoriedade da reabilitação das áreas degradadas pela atividade de mineração e o decreto Nº 97.632, de 10 de abril de 1989, Art.3, a obrigatoriedade da apresentação do Plano de Reabilitação de Áreas Degradadas (PRAD). Em cumprimento à legislação as empresas passaram a concentrar esforços em desenvolver abordagens de recuperação para as áreas impactadas.

Outros mecanismos que prevêm a preservação e conservação da vegetação do complexo rupestre sobre canga são a Lei Estadual Nº 20.922, de 16 de outubro de 2013 que dispõe sobre as políticas florestais e de proteção a biodiversidade em Minas Gerais, a Lei da Mata Atlântica (Nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006) e a Resolução do CONAMA 369/06. Além das questões legais, iniciativas voluntárias como a do Brasil, signatário da Convenção da Diversidade Biológica (1992), reforçam a necessidade de aprimoramento do conhecimento e das técnicas de reabilitação.

Estudos sobre a composição florística e estrutura fitossociológica de campos rupestres ferruginosos foram realizados em diversas áreas do QF (Ataíde *et al.*, 2011; Jacobi e Carmo, 2008; Messias *et al.*, 2012; Mourão e Stehmann, 2007; Pereira, 2010; Viana e Filgueiras, 2008; Viana e Lombardi, 2007; Vincent, 2004). Esses estudos são importantes para o conhecimento dos padrões naturais da comunidade vegetal, pois pela

aplicação de métodos de amostragem adequados, é possível identificar as relações quantitativas em uma comunidade vegetal, permitindo definir as espécies mais abundantes e estabelecer a relação de dominância e importância relativa entre elas na comunidade (Mendonça e Lins, 2000).

Segundo Pereira (2010) medidas voltadas para a conservação “*in situ*” são imprescindíveis, porém serão insuficientes para reverter a perda de espécies nos ecossistemas brasileiros se não estiverem apoiadas numa estratégia de conservação “*ex situ*” de floras regionais.

Os trabalhos de restauração de campos ferruginosos devem ser precedidos de operações de resgate de flora. Essas operações consistem na retirada prévia de fontes de propágulos e indivíduos isolados de áreas alvo de intervenção. Atualmente esse procedimento está previsto no licenciamento ambiental de atividades que resultem em intervenção na vegetação rupestre com o objetivo de estabelecer maior semelhança possível com as áreas naturais. A recuperação do solo ao seu estado original, do ponto de vista ecológico, é uma expectativa irreal, especialmente após o ecossistema ter sofrido processos que mudam drasticamente suas condições físico-químicas (Eijsackers, 1998). Neste sentido, o aproveitamento do *topsoil* tem sido utilizado como prática comum nas atividades de mineração, possibilitando o aproveitamento do banco de sementes, microrganismos, nutrientes e matéria orgânica do solo.

Os solos associados aos Campos rupestres ferruginosos apresentam estrutura peculiar que determina seu comportamento térmico e hídrico, que por sua vez, favorecem o estabelecimento de vegetação altamente especializada e endêmica. A remoção e deposição do *topsoil* altera suas características físicas o que pode ocasionar variações na composição florística e estrutural da vegetação, incluindo o estabelecimento de espécies invasoras.

Tendo em vista a importância ecológica dos campos rupestres ferruginosos e a sua estreita associação com as áreas de interesse para exploração mineral, buscou-se através de experimento de campo, testar abordagens de restauração que considerem aspectos técnicos relacionados à aplicação de *topsoil* e reintrodução de plantas provenientes de operações de resgate. A definição de práticas de manejo adequadas visa contribuir para a conservação da biodiversidade desses ambientes.

2. Material e métodos

2.1. Caracterização da área de estudo

O experimento foi montado em janeiro de 2009 no topo de uma pilha de estéril constituída de itabiritos pobres, filito, dolomito, rocha básica intrusiva e argila, da mina de

Capão Xavier (CPX)–VALE, na região metropolitana de Belo Horizonte, município de Nova Lima-MG, às margens orientais da BR 040. De acordo com Estudo de Impacto Ambiental de CPX (Ecolab, 2002) a mina está inserida no QF e faz parte da aba oeste do sinclinal Moeda caracterizada por uma superposição de rochas metamórficas pré-cambrianas de direção geral predominante norte-sul e mergulho variando de 40 a 50° para leste, representadas pela coluna estratigráfica do Supergrupo Minas.

O clima da região de acordo com a classificação de Köppen é do tipo Cwa, com chuvas de verão, verões quentes e invernos secos, temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C (Antunes, 1986).

2.2. Caracterização do *topsoil*

A área do experimento foi capeada com material de canga. Uma primeira camada foi compactada com a utilização de tratores de esteira. Posteriormente, foi depositado o *topsoil* proveniente de uma área de empréstimo na mesma mina. A área de empréstimo apresentava canga couraçada e fragmentada, sendo o *topsoil* composto por concreções ferruginosas e pouca quantidade de solo.

Para realizar análise química e física amostras desse material foram separadas utilizando peneira com abertura de malha de 2,0 mm, sendo o material mais fino chamado de solo associado à canga. O solo foi amostrado e submetido à caracterização química (Tabela 1) e física (Tabela 2). Os teores totais dos elementos dos materiais são apresentados na Tabela 3.

Tabela 1. Características químicas de amostra de solo associado à canga.

| pH ⁽¹⁾ | P ⁽²⁾ | K ⁽²⁾ | Ca ²⁺⁽³⁾ | Mg ²⁺⁽³⁾ | Al ³⁺⁽³⁾ | H+Al ⁽⁴⁾ | SB | t | S | V | m | MO |
|-------------------|------------------------|------------------|---|---------------------|---------------------|---------------------|-----|-----|-----|----------|---|----------------------|
| | -mg dm ⁻³ - | | -----cmol _c dm ⁻³ ----- | | | | | | | ----%--- | | dag kg ⁻¹ |
| 5,4 | 1,80 | 4,0 | 1,2 | 0,2 | 0,1 | 7,92 | 1,5 | 1,6 | 9,4 | 16 | 6 | 2,9 |

(1) pH em H₂O; (2) Extrator Mehlich-1 (Defelipo & Ribeiro, 1997); (3) Extrator KCl 1,0 mol L⁻¹ (Defelipo & Ribeiro, 1997); (4) Extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0 (Defelipo & Ribeiro, 1997).

Tabela 2. Frações granulométricas^{1/} de amostra de solo associado à canga.

| | Areia grossa ² | Areia fina ² | Silte ³ | Argila ¹ |
|------|---------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|
| | % | | | |
| Solo | 44 | 9 | 19 | 28 |

^{1/} Dispersão mecânica por agitação lenta (RUIZ, 2005a) EMBRAPA, 1997 modificado por Ruiz (2005)

Tabela 3. Teores totais dos elementos da amostra.

| Amostra | ≤ 2,00mm | > 2,00mm |
|---|----------------------|----------|
| | dag.kg ⁻¹ | |
| Fe ⁽¹⁾ | 57,890 | 67,180 |
| SiO ₂ ⁽²⁾ | 5,870 | 0,800 |
| Al ₂ O ₃ ⁽²⁾ | 4,100 | 1,240 |
| P ⁽²⁾ | 0,104 | 0,047 |
| Mn ⁽²⁾ | 0,088 | 0,032 |
| CaO ⁽²⁾ | 0,052 | 0,033 |
| MgO ⁽²⁾ | 0,055 | 0,024 |
| TiO ₂ ⁽²⁾ | 0,443 | 0,126 |
| S ⁽²⁾ | 0,034 | 0,012 |
| Cu ⁽²⁾ | 0,000 | 0,000 |
| Zn ⁽²⁾ | 0,002 | 0,000 |
| Ni ⁽²⁾ | 0,000 | 0,000 |
| Cr ⁽²⁾ | 0,013 | 0,008 |

(1) Digestão ácida e dosagem por titulação. (2) Fusão alcalina e dosagem em ICP-EOS.

2.3. Montagem do experimento

O experimento foi montado no topo de uma pilha de estéril da mina de CPX (Figura 1). Foram definidas parcelas de 200 m² onde foram lançadas 4 subparcelas de 5 X 10 m onde foram testados oito tratamentos compostos a partir da combinação de duas espessuras de *topsoil* (20 e 40 cm) e quatro níveis de adubação, em esquema de parcelas subdivididas. O efeito de camadas foi testado nas parcelas e o de doses nas subparcelas. As subparcelas (50 m²) foram distribuídas em um delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, perfazendo um total de 32 subparcelas experimentais.

O material de canga foi retirado em área de expansão da cava por meio de raspagem superficial (0-40 cm) do terreno com trator de esteira. Após transporte para a pilha de estéril, o material foi espalhado nas parcelas com pá carregadeira e restroescavadeira. O acerto da espessura final do *topsoil* foi realizado manualmente (Figura 2).



Figura 1. Imagem aérea da mina de Capão Xavier indicando a área de montagem do experimento e a área de empréstimo do *topsoil*.

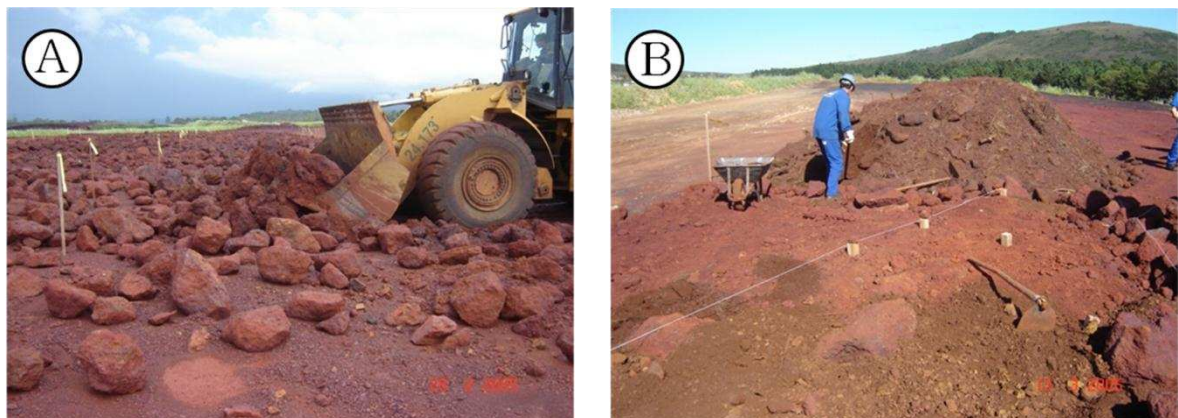


Figura 2. A) Espalhamento de material de canga com pá carregadeira. B) Nivelamento manual do *topsoil*.

Os níveis de adubação foram estabelecidos com base nas características químicas do *topsoil*, visando à reposição básica de macronutrientes em níveis equilibrados, porém baixos (Tabela 4) As pequenas quantidades de fertilizantes utilizadas visaram obter um substrato distrófico supostamente mais adequado às espécies de campos ferruginosos e não favorecer a proliferação de espécies invasoras. Para a formação da mistura foram

utilizados os seguintes fertilizantes: termofosfato magnésiano (P_2O_5 solúvel, ácido cítrico 2% (1:100) Ca 20 %, Mg 7 %, Boro 0,10 %, Zn 0,55 %, Mn 0,12 %, Cu 0,05 % e Mo 0,006 %), sulfato magnésiano (9 % de magnésio e 12 % de enxofre) e mistura N-P-K 20-0-8. As misturas foram preparadas no viveiro de mudas do Miguelão-VALE, levadas para o campo e incorporadas manualmente ao *topsoil* em toda a área de cada parcela.

Tabela 4. Níveis de adubação utilizados.

| Níveis de adubação | Termofosfato magnésiano | Sulfato magnésiano | N-P-K (20-0-8) |
|--------------------|-------------------------|---------------------|----------------|
| | | kg.ha ⁻¹ | |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 300 | 183 | 660 |
| 0,6 | 600 | 366 | 1320 |
| 1 | 900 | 554 | 2000 |

2.4. Seleção de espécies para o plantio

A seleção das espécies foi feita com base nos levantamentos florísticos nas áreas do entorno da área do experimento e de acordo com a disponibilidade de mudas no viveiro. Além das consultas aos levantamentos florísticos do Relatório de Impacto Ambiental da Mina de Capão Xavier (Ecolab, 2002) e do monitoramento da flora, foram realizadas campanhas de campo durante a implantação do experimento com o objetivo de observar a distribuição das plantas em ambientes inalterados. A lista com as espécies introduzidas suas respectivas quantidades encontra-se na Tabela 5. O grupo de espécies selecionadas foi igualmente implantado em cada parcela, com o mesmo número de plantas, posicionadas de acordo com o mesmo arranjo espacial (Figura 4). Essa alocação considerou o hábito das plantas em relação à radiação solar. Algumas plantas estavam enviveiradas a pleno sol e outras associadas a outras plantas ou sob sombrite.

As espécies *Paliavana sericiflora* e *Sinningia warmingii* são consideradas vulneráveis de acordo com a Lista das Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção do estado de Minas Gerais. O cacto *Arthrocereus glaziovii* também faz parte da lista sendo avaliado como criticamente em perigo (Mendonça e Lins, 2000).

Além das espécies selecionadas no viveiro, um grande número de espécies foi introduzido na área através do banco de sementes presente no *topsoil*. Sua identificação foi feita à medida que ocorria a germinação e o desenvolvimento das plantas.

Tabela 5. Lista com as espécies introduzidas nas parcelas experimentais e suas respectivas quantidades.

| Família | Espécie | Mudas/Parcela | Hábito |
|-----------------|---|---------------|-----------|
| Araceae | | | |
| | <i>Anturium minarum</i> Sakuragui & Mayo | 2 | Herbáceo |
| Bromeliaceae | | | |
| | <i>Dickia consimilis</i> Mez | 1 | Herbáceo |
| | <i>Bilbergia elegans</i> Mart. ex Schult. | 1 | Herbáceo |
| | <i>Vriesia minarum</i> L.B.Sm | 2 | Herbáceo |
| Cactaceae | | | |
| | <i>Arthrocereus glaziovii</i> (K. Schum.) N.P. Taylor & Zappi | 5 | Herbáceo |
| Clusiaceae | | | |
| | <i>Clusia arrudae</i> | 1 | Arbustivo |
| Gesneriaceae | | | |
| | <i>Paliavana sericiflora</i> Benth. | 1 | Arbustivo |
| | <i>Sinningia rupicola</i> (Mart.) Wiehler | 1 | Herbáceo |
| Melastomataceae | | | |
| | <i>Tibouchina multiflora</i> Cogn. | 2 | Arbustivo |
| Orchidaceae | | | |
| | <i>Epidendrum secundum</i> Vel. | 1 | Herbáceo |
| | <i>Hoffmannseggella crispata</i> (Thunb.) H.G.Jones | 5 | Herbáceo |
| Sapindaceae | | | |
| | <i>Cupania</i> sp. | 1 | Arbórea |
| Velloziaceae | | | |
| | <i>Vellozia caruncularis</i> Mart. ex Seub. | 1 | Herbáceo |
| | <i>Vellozia compacta</i> Mart. | 1 | Herbáceo |
| | <i>Vellozia graminea</i> Pohl. | 1 | Herbáceo |

2.5. Plantio

O plantio foi realizado entre os dias 20/01 e 05/02 de 2009 com mudas provenientes de operações de resgate realizadas em áreas da mina de Capão Xavier desde 2007. Ao todo foram plantadas 832 mudas de espécies de campo rupestre sobre canga.

No sistema de resgate adotado pela empresa na ocasião do resgate, parte dos indivíduos resgatados foi plantada em caixas de madeira com dimensões aproximadas de 50 X 30 X 20 cm e mantida no viveiro para posterior reintrodução no campo. Para o plantio nas parcelas, os caixotes foram transportados para a área do experimento onde se separou manualmente as mudas em quantidades necessárias para cada subparcela (Figura 3).

Foi realizado plantio manual, em covas pouco profundas (10 X 10 X 10 cm), uma vez que os fertilizantes foram aplicados e incorporados na camada do *topsoil* aplicado. As mudas foram dispostas em cada parcela seguindo o arranjo previamente definido (Figura 4). Em virtude dos baixos índices pluviométricos ocorridos após o plantio, foi necessário o uso de irrigação através de caminhão pipa. A utilização dos caminhões para irrigação foi feita de

acordo com a disponibilidade da empresa, não sendo possível registrar precisamente a quantidade de água utilizada.



Figura 3. A) Indivíduos resgatados plantados em caixas em viveiro. B) Plantio das mudas na área do experimento.

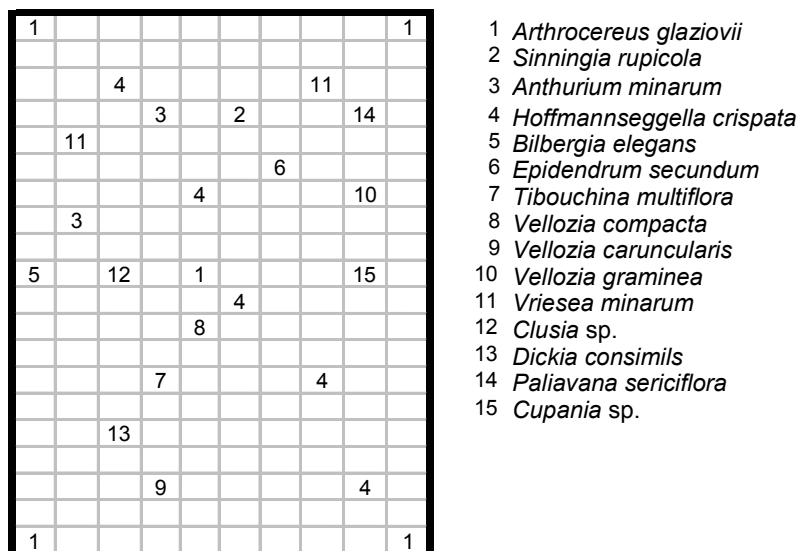


Figura 4. Arranjo espacial de mudas no plantio das subparcelas.

2.6. Avaliações dos efeitos dos tratamentos

As primeiras avaliações dos efeitos dos tratamentos foram realizadas aos dez meses do plantio (Novembro 2009). Nessa ocasião, os tratamentos foram avaliados pela quantificação da cobertura vegetal do *topsoil*, sobrevivência das plantas reintroduzidas e regeneração natural.

Aos 49 meses do plantio (Março 2013) os tratamentos foram avaliados pela cobertura vegetal do *topsoil*, sobrevivência das plantas reintroduzidas, regeneração natural e fitossociologia.

Aos 10 meses a avaliação da cobertura vegetal do *topsoil* foi realizada por meio de método fotográfico utilizando o software Quant. O procedimento de campo foi desenvolvido especialmente para atender as características deste estudo e consistiu em registros

fotográficos perpendiculares à superfície do solo, tomados sistematicamente a uma distância fixa (1,60 m), o que determinou quadrantes de amostragem de 7.000 cm². Para cada subparcela de 50 m² foram lançadas aleatoriamente 5 quadrantes para quantificação da cobertura vegetal do *topsoil*. Dessa forma, obteve-se a porcentagem de cobertura vegetal do *topsoil* para as espessuras testadas.

Aos 49 meses do plantio a avaliação da cobertura vegetal do *topsoil* foi realizada através do lançamento de cinco quadrados de 1 X 1 m nas subparcelas (50 m²). Nos quadrados, foi atribuído ao solo exposto uma porcentagem de cobertura relativa à cobertura vegetal. Esse método permitiu quantificar a de porcentagem de cobertura vegetal do *topsoil* para as espessuras testadas (Figura 5)

Como os programas de restauração de campos rupestres sobre canga têm como principal objetivo promover a preservação da biodiversidade optou-se na segunda avaliação por realizar uma análise fitossociológica das espécies estabelecidas no *topsoil*. Para isso utilizou-se o Método de Relevé (Braun-Blanquet, 1932). O relevé é uma porção da vegetação escolhida pelo pesquisador para representar uma fisionomia vegetal. Por meio de uma estimativa visual qualiquantitativa de abundância e cobertura, confeccionou-se uma lista de todas as espécies de plantas encontradas na unidade amostral. As espécies do relevé foram identificadas e para cada uma foi atribuída uma porcentagem de cobertura.

A amostragem foi realizada nas subparcelas através da definição de um transecto de 10 m onde foram posicionados os quadrados de 1 X 1 m a cada 2 m do transecto (Figura 5). Foram definidos cinco quadrantes totalizando uma amostragem de 10 % da área total da subparcela.

Os parâmetros fitossociológicos do método de estimativa de cobertura, segundo Mueller-Dombois e Ellenberg (1974), são:

| Parâmetro | Fórmula |
|----------------------|--|
| Cobertura absoluta | $CA_i = \sum_{i=1}^n C_i$ |
| Cobertura relativa | $CR_i = \left(\frac{CA_i}{\sum_{i=1}^n CA_i} \right) \cdot 100$ |
| Frequência absoluta | $FA_i = \left(\frac{UA_i}{UAT} \right) \cdot 100$ |
| Frequência relativa | $FR_i = \left(\frac{FA_i}{\sum_{i=1}^n FA_i} \right) \cdot 100$ |
| Valor de importância | $VI = \frac{CR_i + FR_i}{2}$ |

C_i = percentuais de cobertura da espécie "i"; UA_i = número de unidades amostrais onde a espécie "i" ocorre; e UAT = número total de unidades amostrais.

A sobrevivência das plantas foi avaliada pelo acompanhamento do desenvolvimento apenas dos indivíduos plantados. Por ocasião do plantio foi feita marcação de campo e registro fotográfico de cada indivíduo reintroduzido. A avaliação de sobrevivência foi feita por inspeção de campo e contagem dos indivíduos vivos. A regeneração natural foi avaliada através de censo de todas as espécies que não foram plantadas presentes nas subparcelas.

A conferência de nomes científicos foi realizada no site do Ipni (2012) e no site do Re flora (2013). A classificação das famílias foi feita de acordo com APG III (Bremer *et al.*, 2009).



Figura 5. A e B) Quadrantes lançados para avaliar recobrimento do *topsoil* e a estrutura fitossociológica da comunidade vegetal estabelecida sobre o *topsoil*.

2.7. Análises estatísticas

Modelos de regressão foram testados para avaliar o efeito de dose de fertilizantes utilizando o teste t adotando 5% de probabilidade. Independentemente da interação espessura X dose ser ou não significativa, optou-se pelo desdobramento da mesma devido ao interesse em estudo.

Para avaliar o efeito de espessura do *topsoil* na cobertura vegetal das parcelas foi utilizado um modelo linear generalizado misto, com as subparcelas como variável aleatória a fim de corrigir a pseudo-repetição. No modelo a profundidade do *topsoil* foi utilizada como variável explicativa para a variação na porcentagem da cobertura vegetal do *topsoil*. A diferença entre os tratamentos foi analisada através de uma análise de variância (ANOVA).

A variação na porcentagem de espécies vivas em função da espessura do *topsoil* e do tempo após o plantio foi analisada através de uma análise de variância fatorial (two way ANOVA). Foi utilizado um modelo linear generalizado e a significância das variáveis explicativas foi avaliada pela simplificação dos modelos completos, por retirada de termos não significativos.

Para avaliação da sobrevivência das espécies individualmente em função das espessuras do *topsoil* foi realizada uma ANOVA.

Os resíduos de todos os modelos ajustados foram analisados para avaliar a adequação dos modelos e da distribuição de erros (Crawley, 2012). Foi usado o software R 2.11 (Team, 2005).

3. Resultados e Discussão

3.1. Cobertura vegetal

Não houve correlação entre os níveis de adubação e a cobertura vegetal do *topsoil* ao contrário da primeira avaliação realizada aos 10 meses, onde o aumento das doses dos níveis de adubação resultou em aumento da cobertura vegetal. A baixa quantidade de

fertilizantes aplicada na montagem do experimento associada ao processo de lixiviação do *topsoil* ao longo de 49 meses pode ter contribuído para a eliminação do efeito da adubação sobre o estabelecimento de plantas e conseqüentemente sobre a cobertura vegetal do *topsoil*.

Aos 49 meses as parcelas com 20 cm de espessura apresentaram menor porcentagem de cobertura vegetal (Figura 6 e 7). As condições do substrato impuseram restrições ao desenvolvimento das espécies invasoras que são as espécies que conferem maior cobertura ao *topsoil*. Nas parcelas de 40 cm a maior cobertura vegetal está associada a fatores como o favorecimento do crescimento do sistema radicular das plantas, à maior disponibilidade de água e nutrientes e ainda pela maior quantidade de sementes e propágulos contida no volume de material aplicado no capeamento.

O estabelecimento de parcelas com diferentes espessuras resultou em diferenças de cobertura vegetal criando assim maior variedade de microclimas e favorecendo o estabelecimento de maior biodiversidade. Entretanto é necessário saber quais espécies contribuem para esse recobrimento, já que em áreas em processo de restauração é comum observar a colonização por espécies invasoras

Luz e temperatura são fatores de grande importância no controle da germinação e dormência de sementes, tendo um papel crucial na regulação do crescimento e desenvolvimento das plantas (Baskin e Baskin, 1988). As condições em que o processo germinativo ocorre e as características do substrato de áreas em processo de restauração fornecem informações sobre o estabelecimento, a sucessão e regeneração de plantas em condições naturais (Vázquez-Yanes e Orozco-Segovia, 1993).

Muitas espécies de campos rupestres apresentam sementes pequenas. Segundo Abreu e Garcia (2005) sementes pequenas apresentam fotodormência, o que sugere um padrão germinativo para as espécies desses ambientes. A germinação dessas sementes não ocorre quando estão em profundidade, sendo seu estabelecimento favorecido em áreas com menores espessuras de *topsoil* que apresentam menor cobertura vegetal.

A necessidade de temperaturas alternadas para a germinação das sementes é considerada uma adaptação de espécies com sementes pequenas encontradas próximas à superfície do solo em ambiente aberto (Probert, 1992). A cobertura vegetal contribui para o fornecimento de matéria orgânica, que diminui as variações térmicas e hídricas do solo (Voos e Sidiras, 1985). O estabelecimento de espécies de ambientes abertos como os de campo rupestre ferruginoso deve ser, portanto favorecido nas parcelas de 20 cm. As parcelas com maior volume de solo favorecem o estabelecimento de espécies que ocorrem nos ambientes naturais com maior acúmulo de solo, como os Campos rupestres arbustivos e Capões de mata sobre canga.

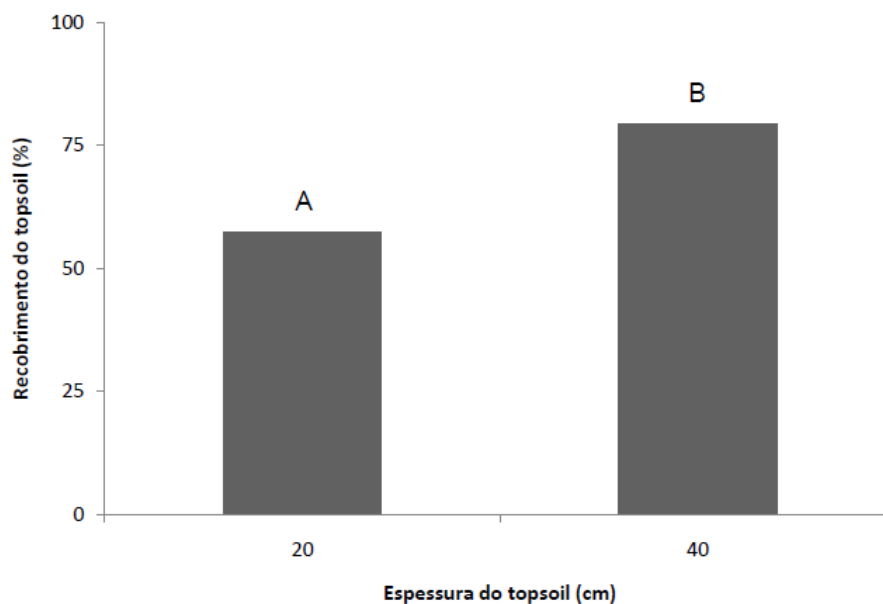


Figura 6. Porcentagem de cobertura vegetal do *topsoil* nas diferentes espessuras testadas, na avaliação realizada aos 49 meses após o plantio.

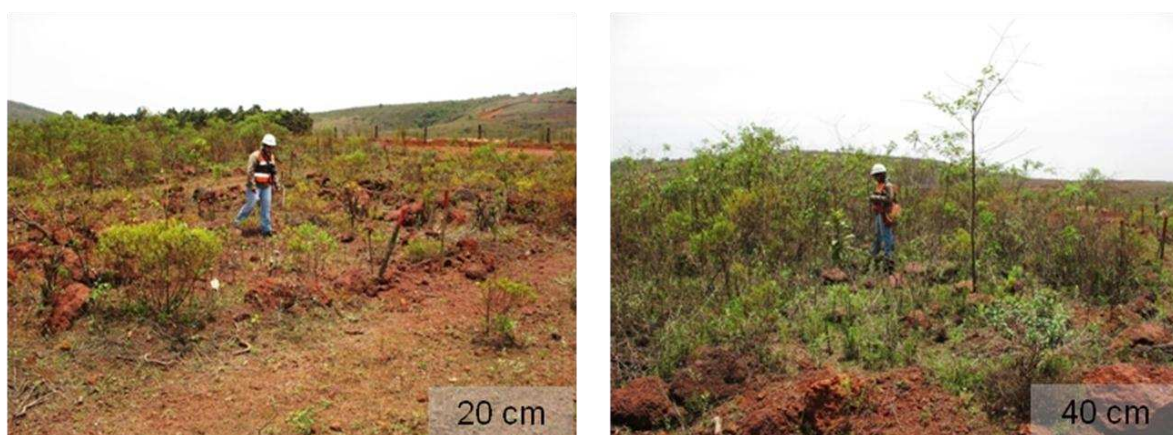


Figura 7. Cobertura vegetal nas parcelas de 20 e 40 cm de espessura de *topsoil*.

3.2. Sobrevivência das plantas reintroduzidas

A avaliação da sobrevivência das espécies tratou exclusivamente dos indivíduos introduzidos na área experimental através de mudas e touceiras provenientes de operações de resgate de flora.

Não houve correlação entre a sobrevivência das plantas e os níveis de adubação em nenhuma das avaliações (10 e 49 meses)

A Figura 8 mostra que houve uma queda no valor da sobrevivência da comunidade de plantas introduzidas ao longo do tempo e que não houve diferença significativa entre as espessuras nas duas avaliações realizadas.

A sobrevivência total aos 49 meses do plantio foi de 43,75 %. As famílias Sapindaceae (84 %), Araceae (59 %), Velloziaceae (54 %), Clusiaceae (53 %) e Bromeliaceae (49 %) apresentaram maiores porcentagens de sobrevivência (Tabela 6).

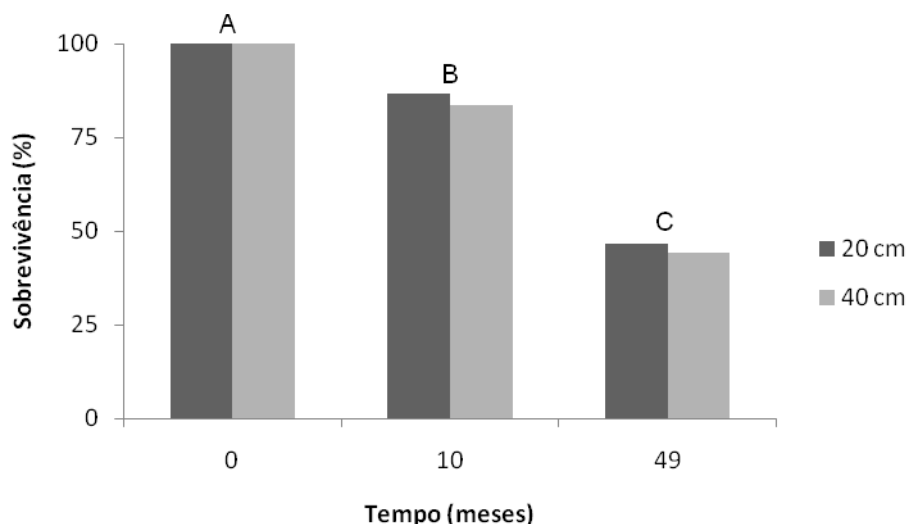


Figura 8. Sobrevivência da comunidade de plantas reintroduzidas ao longo do tempo nas diferentes espessuras testadas.

Mendonça (2013) submeteu espécies de canga resgatadas a diferentes tratamentos e após 15 meses de monitoramento avaliou a sobrevivência das plantas. O tratamento onde as plantas foram reintroduzidas em área experimental formada por *topsoil* (solo e rochas) proveniente da mina apresentou menor porcentagem de sobrevivência. A remoção desse material e posterior deposição altera suas características físicas podendo afetar o estabelecimento das plantas de campo rupestre e favorecer a colonização das áreas por espécies invasoras.

As plantas invasoras são auto-compatíveis e apresentam rápido crescimento e desenvolvimento. Quando são arbustivas apresentam elevada cobertura vegetal, podem ser alelopáticas ou ainda escandentes e suas sementes apresentam alta viabilidade e longevidade. Essas características garantem o sucesso competitivo dessas espécies que impedem o desenvolvimento das espécies rupestres e criam condições microclimáticas adversas a seu estabelecimento.

De maneira geral a porcentagem de sobrevivência das plantas aos 49 meses diminuiu em relação aos 10 meses, com exceção de *Vellozia caruncularis*, que apresentou 100 % de sobrevivência na segunda avaliação. As espécies *Vellozia graminea* e *Sinningia warmingii* não foram encontradas na segunda avaliação. Com exceção de *Cupania* sp, *Anthurium minarum*, *Vellozia compacta*, *Vellozia caruncularis* e *Bilbergia elegans* todas espécies apresentaram redução de sobrevivência superior a 20 % entre os períodos de avaliação (Tabela 7).

O valor paisagístico das espécies *Epidendrum secundum* e *Hoffmannseggella crispata* e o acesso à área do experimento pode ter contribuído para a diminuição da

sobrevivência desses indivíduos. A baixa porcentagem de sobrevivência da família Orchidaceae contraria os resultados encontrados por Mendonça (2013) e Santos (2010).

Analisando as espécies individualmente, observa-se que *Paliavana sericiflora*, *Sinningia warmingii* e *Vellozia graminea* apresentaram menor sobrevivência ao final dos 49 meses. A avaliação da sobrevivência, contudo deve ser planejada para que a porcentagem de sobrevivência de plantas que perdem as folhas e apresentam bulbos seja subestimada nas observações feitas nos períodos secos. Aos 10 meses, a espécie *Sinningia warmingii* apresentou 50 % de sobrevivência. No período chuvoso subsequente à essa avaliação, observou-se a rebrota de alguns indivíduos.

Apesar da diminuição na porcentagem de sobrevivência, foram identificados diversos indivíduos de *Tibouchina multiflora* provenientes de regeneração natural, o que indica que essa espécie se propaga bem por sementes e que sua reintrodução pode ser realizada através do uso de *topsoil*.

A espécie *Arthrocerus glaziovii* encontra-se na “Revisão da Lista das Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção de Minas Gerais” (Drummond *et al.*, 2005) devido à diminuição das áreas de canga couraçada onde ela preferencialmente ocorre. Os resultados de sobrevivência dessa espécie corroboram com sua vulnerabilidade apontando a necessidade da realização de mais estudos sobre manejo e biologia reprodutiva.

As mudas da espécie arbórea *Cupania* sp. receberam em viveiro adubação e irrigação por período de um ano. Trata-se de espécie arbórea que ocorre nos capões de mata sobre canga e seu porte, além de adaptações como folhas carnosas, garantiram sua elevada taxa de sobrevivência na área experimental.

Não houve diferença significativa entre a sobrevivência das espécies em função da espessura do *topsoil* em nenhuma das ocasiões de avaliação. Entretanto, sabe-se que nas áreas naturais a distribuição das plantas no ambiente está relacionada à profundidade do solo. A baixa quantidade de repetições por espécie foi um ponto crítico, pois a elevada diferença na sobrevivência dos indivíduos entre as unidades amostrais acarretou em elevada variância dos dados, reduzindo a confiabilidade das análises.

Esses resultados sugerem que, além da utilização de métodos convencionais, sejam desenvolvidas novas técnicas de manejo das plantas, incluindo o uso de mantas biocolonizadoras, que vem sendo aprimorada no Centro de Produção de mudas nativas da Vale, localizado no Centro de Tecnologia de Ferrosos, Nova Lima – MG. As técnicas de manejo devem incluir os processos referentes ao enviveiramento das mudas. Santos (2010) afirma que a sobrevivência das plantas resgatadas e reintroduzidas é maior quando elas são acomodadas em viveiro.

Estudos florísticos e ecológicos, de resgate de flora e utilização de *topsoil* são ferramentas importantes para o conhecimento do ciclo biológico e dos processos de

estabelecimento da vegetação de campo rupestre ferruginoso. O manejo desses ambientes é extremamente complexo o que torna muito mais simples e viável a conservação de áreas necessárias para a conservação de sua biodiversidade.

Estudos de biologia reprodutiva e o conhecimento sobre a propagação das espécies de campo rupestre sobre canga são de suma importância para a conservação de sua biodiversidade uma vez que a reintrodução de algumas espécies resgatadas em áreas experimentais não garante sua sobrevivência em níveis satisfatórios.

Tabela 6. Sobrevivência por espécie e família aos 49 meses do plantio

| Família | Espécie | Sobrevivência | |
|-----------------|----------------------------------|---------------|---------|
| | | % | |
| | | Espécie | Família |
| Sapindaceae | | | 84,38 |
| | <i>Cupania</i> sp. | 84,38 | |
| Araceae | | | 59,38 |
| | <i>Anthurium minarum</i> | 59,38 | |
| Velloziaceae | | | 54,17 |
| | <i>Vellozia compacta</i> | 53,13 | |
| | <i>Vellozia caruncularis</i> | 100,00 | |
| | <i>Vellozia graminea</i> | 0,00 | |
| Clusiaceae | | | 53,13 |
| | <i>Clusia arrudae</i> | 53,13 | |
| Bromeliaceae | | | 49,22 |
| | <i>Bilbergia elegans</i> | 68,75 | |
| | <i>Vrisea minarum</i> | 37,50 | |
| | <i>Dyckia consimilis</i> | 53,13 | |
| Orchidaceae | | | 13,02 |
| | <i>Hoffmannseggella crispata</i> | 50,00 | |
| | <i>Epidendrum secundum</i> | 25,00 | |
| Melastomataceae | | | 34,38 |
| | <i>Tibouchina multiflora</i> | 34,38 | |
| Cactaceae | | | 33,13 |
| | <i>Arthrocereus glaziovii</i> | 33,13 | |
| Gesneriaceae | | | 7,81 |
| | <i>Paliavana sericiflora</i> | 15,63 | |
| | <i>Sinningia warmingii</i> | 0 | |

Tabela 7. Porcentagem de sobrevivência por espécie aos 10 e 49 meses do plantio.

| | | Sobrevivência | |
|-----------------|----------------------------------|---------------|----------|
| | | % | |
| Família | Espécie | 10 meses | 49 meses |
| Sapindaceae | | | |
| | <i>Cupania</i> sp. | 87,50 | 84,38 |
| Araceae | | | |
| | <i>Anthurium minarum</i> | 67,19 | 59,38 |
| Velloziaceae | | | |
| | <i>Vellozia compacta</i> | 68,75 | 53,13 |
| | <i>Vellozia caruncularis</i> | 100 | 100,00 |
| | <i>Vellozia graminea</i> | 68,75 | 0,00 |
| Clusiaceae | | | |
| | <i>Clusia arrudae</i> | 87,50 | 53,13 |
| Bromeliaceae | | | |
| | <i>Bilbergia elegans</i> | 84,38 | 68,75 |
| | <i>Vriesea minarum</i> | 78,13 | 37,50 |
| | <i>Dyckia consimilis</i> | 87,50 | 53,13 |
| Orchidaceae | | | |
| | <i>Hoffmannseggella crispata</i> | 74,00 | 50,00 |
| | <i>Epidendrum secundum</i> | 73,75 | 25,00 |
| Melastomataceae | | | |
| | <i>Tibouchina multiflora</i> | 62,50 | 34,38 |
| Cactaceae | | | |
| | <i>Arthrocereus glaziovii</i> | 75,00 | 33,13 |
| Gesneriaceae | | | |
| | <i>Paliavana sericiflora</i> | 37,50 | 15,63 |
| | <i>Sinningia warmingii</i> | 50,00 | 0,00 |

3.3. Regeneração natural

A avaliação da regeneração natural tratou exclusivamente das espécies trazidas neste material por meio de seu banco de sementes ou demais formas de introdução (vetores). Segundo Mendonça (2013) a área de empréstimo do *topsoil* apresentava antes da operação da mina cobertura vegetal representada predominantemente por campo rupestre ferruginoso.

O manuseio do substrato, com revolvimento e alteração de sua estrutura original, criou condições que favoreceram um novo arranjo florístico. Estas novas condições podem ter sido determinantes no desenvolvimento de espécies invasoras conforme observado aos 49 meses da instalação do experimento.

Para a avaliação da regeneração natural foi feita a identificação das plantas em todas as subparcelas experimentais. A avaliação realizada aos 49 meses identificou 100 espécies distribuídas em 30 famílias. As famílias mais representativas em número de espécies foram: Poaceae (19), Asteraceae (18), Rubiaceae (7) e Euphorbiaceae (6).

A maioria das espécies identificadas na regeneração natural, incluindo as exóticas, foi listada por Mendonça (2013) em áreas naturais no entorno da área do experimento e na área de empréstimo do *topsoil*. São elas: *Ditassa linearis*, *Oxypetalum appendiculatum*, *Baccharis dracunculifolia*, *Lychnophora pinaster*, *Bulbostylis capilaris*, *Bulbostylis fimbriata*, *Alchornea triplinervea*, *Sebastiania glandulosa*, *Mimosa calodendron*, *Eriope macrostachya*, *Sinningia warmingii*, *Myrcia splendens*, *Peperomia decora*, *Microtea paniculata*, *Andropogon ingratus*, *Axonopus siccus*, *Eragrostis rufescens*, *Eragrostis polytricha*, *Eragrostis articulata*, *Panicum selowii*, *Sporobolus metallicolus*, *Andropogon bicornis*, *Setaria parviflora*, *Trachypogon spicatus*, *Portulaca hirsutissima*, *Portulaca mucronata*, *Calibrachoa elegans*, *Lantan fucata*, *Lippia gracilis*, *Stachytarpheta glabra*. Foram identificadas duas espécies exóticas na regeneração natural: *Melinis minutiflora* e *Melinis repens*.

Esses resultados indicam a importância da utilização do *topsoil* na definição de critérios de resgate. As espécies que apresentam bons resultados de regeneração natural através do uso de *topsoil* dispensam o resgate através de coletas individuais. Segundo Santos (2010) a maioria das espécies nascidas no *topsoil* não é produzida por resgate de mudas nem por coleta de sementes. A autora cita como exemplo as espécies *Stachytarpheta glabra* e *Tibouchina multiflora*.

A Tabela 8 possibilita a comparação dos resultados florísticos dos levantamentos realizados aos 10 e aos 49 meses do plantio. Nas duas ocasiões foi identificada a espécie *Lycnophora pinaster* presente na “Revisão da Lista das Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção de Minas Gerais” (Drummond *et al.*, 2005). As espécies *Calibrachoa elegans* e *Sinningia warmingii* também estão presentes na lista e foram observadas na avaliação feita aos 10 meses do plantio. Essas espécies não foram observadas aos 49 meses. Santos (2010) comparou a listagem florística da regeneração natural em área experimental aos 5 e 12 meses de plantio. Um dos fatores que a autora atribui à ausência de determinadas espécies no segundo período da avaliação é perda de nutrientes do *topsoil* que gera ambiente restritivo para o estabelecimento de espécies com menor habilidade competitiva em solos empobrecidos. Na área do experimento a competição entre as espécies, principalmente as invasoras, também é um fator considerável para a ausência dessas espécies.

A presença das espécies consideradas invasoras foi expressiva e a discussão será feita considerando os dados da fitossociologia.

Essas informações comprovam a efetividade da utilização de *topsoil* de área de mina em programas de restauração ecológica de campos rupestres ferruginosos. Entretanto, a presença de espécies invasoras exóticas ou nativas apresentou-se como fator impeditivo ao sucesso do desenvolvimento das plantas nativas, já que houve aumento da contribuição dessas espécies na cobertura vegetal e diminuição na sobrevivência das plantas

nativas ao longo do tempo. Em áreas fortemente antropizadas, é recomendado que sejam realizadas capinas manuais seletivas. A observação feita por Santos (2010) sobre a perda de nutrientes e matéria orgânica do *topsoil* influenciando na distribuição e estabelecimento das espécies reforça a importância da realização de estudos sobre a demanda nutricional das espécies de interesse bem como da utilização de adubação em áreas em restauração.

Tabela 8. Lista das espécies presentes na regeneração natural. Na coluna “Forma de vida”: T = Terófito, F = fanerófito, C = Caméfitas, G = Geófitas, H = Hemicriptófitas, T = Terófito, E = Epífita, Hm = Hemiepífitas, L = Lianas.

| Família | Espécie | Topsoil | | Hábito | Forma de vida |
|----------------|---|----------|----------|------------|---------------|
| | | 10 meses | 49 meses | | |
| Apiaceae | | | | | |
| | <i>Foeniculum vulgare</i> Mill. | x | | Herbáceo | Terófito |
| Apocynaceae | | | | | |
| | <i>Ditassa linearis</i> Mart | x | | Escandente | Terófito |
| | <i>Oxypetalum appendiculatum</i> Mart. | x | | Escandente | Hm |
| | <i>Oxypetalum minarum</i> E Fourn | x | | Escandente | Hm |
| Amaranthaceae | | | | | |
| | <i>Amaranthus</i> sp. | x | | Herbáceo | C |
| Asteraceae | | | | | |
| | <i>Alomya</i> sp. | x | x | Arbustivo | C |
| | <i>Bidens brasiliensis</i> Sherff | x | | Arbustivo | T, C |
| | <i>Bidens pilosa</i> L. | x | x | Arbustivo | T, C |
| | <i>Eupatorium</i> sp. | x | | Arbustivo | C |
| | <i>Gnaphalium</i> sp. | x | x | Arbustivo | T, C |
| | <i>Sonchus oleraceus</i> L. | x | | Herbáceo | T, C |
| | <i>Vernonia altissima</i> Nutt. | x | | Herbáceo | F |
| | <i>Achyrocline satureioides</i> (Lam.) DC. | x | x | Herbáceo | Hm |
| | <i>Ageratum conyzoides</i> L. | | x | Herbáceo | T, C |
| | <i>Symphopappus brasiliensis</i> (Gardner) R.M.King | x | | Herbáceo | C |
| | <i>Ageratum fastigiatum</i> (Gardner) R.M.King & H.Rob. | | x | Herbáceo | T, C |
| | <i>Baccharis dracunculifolia</i> DC. | | x | Herbáceo | F |
| | <i>Chromolaena laevigata</i> (Lam.) R.M.King & H.Rob. | | x | Herbáceo | T, F |
| | <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist | | x | Herbáceo | T, F |
| | <i>Emilia fosbergii</i> Nicolson | | x | Herbáceo | T, C |
| | <i>Lychnophora pinaster</i> Mart. | | x | Arbustivo | C |
| | <i>Tagetes</i> sp. | | x | Herbáceo | T, C |
| | <i>Vernonanthura phosphorica</i> (Vell.) H.Rob. | | x | Herbáceo | F |
| Commelinaceae | | | | | |
| | <i>Commelina erecta</i> L. | x | x | Escandente | Hm |
| Convolvulaceae | | | | | |
| | <i>Evolvulus</i> sp. | x | | Herbáceo | C |
| | <i>Ipomoea ramosissima</i> Choisy | | x | Herbáceo | T, C |
| Cyperaceae | | | | | |
| | <i>Bulbostylis capilaris</i> C.B.Clarke | x | | Herbáceo | T, Hm |

| Familia | Especie | Topsoil | | Hábito | Forma de vida |
|-----------------|---|----------|----------|-----------|---------------|
| | | 10 meses | 49 meses | | |
| | <i>Bulbostylis fimbriata</i> C.B.Clarke | | x | Herbáceo | T, Hm |
| | <i>Cyperus</i> sp. | x | x | Herbáceo | Hm |
| Euphorbiaceae | | | | | |
| | <i>Alchornea triplinervea</i> (Sprengel) Müller | x | | Arbórea | F |
| | <i>Croton migrans</i> Casar. | x | | Arbustivo | F |
| | <i>Sebastiania glandulosa</i> Müll.Arg. | x | x | Arbustivo | C |
| | <i>Chamaecyse</i> sp. | x | | Herbáceo | C |
| | <i>Phyllanthus rosellus</i> Müll.Arg. | x | x | Herbáceo | T,C |
| | <i>Chamaesyce hyssopifolia</i> Small | | x | Herbáceo | T,C |
| Fabaceae | | | | | |
| | <i>Mimosa calodendron</i> Mart. | x | x | Arbustivo | F |
| | <i>Mimosa</i> sp. | x | | Arbustivo | F |
| | <i>Erythrina</i> sp. | x | | Arbustivo | F |
| | <i>Zornia diphylla</i> (L.) Pers | x | | Arbustivo | Hm |
| | <i>Senna obtusifolia</i> (L.) H.S.Irwin & Barneby | | x | Arbustivo | F |
| Iridaceae | | | | | |
| | <i>Crocasmia crocosmiiflora</i> (G.Nicholson) N.E.Br. | | x | Herbáceo | G |
| Lamiaceae | | | | | |
| | <i>Eriope macrostachya</i> Mart. ex Benth. | x | x | Arbustivo | T, C |
| | <i>Marsypianthes chamaedrys</i> (Vahl) Kuntze | | x | Herbáceo | T, C |
| Gesneriaceae | | | | | |
| | <i>Sinningia warmangii</i> (Mart.) Wiehler | x | | Herbáceo | |
| Lythraceae | | | | | |
| | <i>Cuphea</i> sp. | x | | Herbáceo | C |
| Malpighiaceae | | | | | |
| | <i>Peixotoa tomentosa</i> A.Juss. | x | x | Arbustivo | |
| Malvaceae | | | | | |
| | <i>Sida glaziovii</i> K.Schum. | x | x | Herbáceo | C |
| | <i>Triumfetta semitriloba</i> Jacq. | | x | Arbustivo | F |
| | <i>Waltheria indica</i> L. | x | | Arbustivo | F |
| | <i>Waltheria</i> sp. | x | | Arbustivo | F |
| Melastomataceae | | | | | |
| | <i>Tibouchina multiflora</i> Cogn. | | x | | F |
| Myrtaceae | | | | | |
| | <i>Myrcia splendens</i> DC. | | x | Arbóreo | F |
| | Myrtaceae Indeterminada | | x | Herbáceo | |
| | <i>Myrcia</i> sp. | x | | Herbáceo | |
| Oxalidaceae | | | | | |
| | <i>Oxalis corniculata</i> L. | | x | Herbáceo | C |
| Piperaceae | | | | | |
| | <i>Peperomia decora</i> Dahlst | x | | Herbáceo | Hm |
| Phytolaccaceae | | | | | |
| | <i>Microtea paniculata</i> Moq. | x | | Herbáceo | T, C |

| Familia | Especie | Topsoil | | Hábito | Forma de vida |
|------------------|---|----------|----------|----------|---------------|
| | | 10 meses | 49 meses | | |
| Plantaginaceae | | | | | |
| | <i>Plantago major</i> L. | x | x | Herbáceo | C |
| Poaceae | | | | | |
| | <i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koeler | x | | Herbáceo | Hm |
| | <i>Melinis minutiflora</i> P.Beauv. | x | x | Herbáceo | Hm |
| | <i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka | x | x | Herbáceo | Hm |
| | <i>Eragrostis bahiensis</i> Roem. & Schult. | x | | Herbáceo | Hm |
| | <i>Eragrostis polytricha</i> Nees | x | | Herbáceo | Hm |
| | <i>Eragrostis rufescens</i> Schrad. | x | x | Herbáceo | Hm |
| | <i>Eragrostis</i> sp. | x | x | Herbáceo | Hm |
| | <i>Panicum sellowii</i> Nees | x | x | Herbáceo | Hm |
| | <i>Paspalum paniculatum</i> L. | x | | Herbáceo | Hm |
| | <i>Sporobolus metallicolor</i> L. | x | | Herbáceo | Hm |
| | <i>Urochloa decumbens</i> (Stapf) R.D.Webster | x | | Herbáceo | Hm |
| | <i>Andropogon bicornis</i> L. | | x | Herbáceo | Hm |
| | <i>Andropogon ingratus</i> Hack. | | x | Herbáceo | Hm |
| | <i>Axonopus siccus</i> Kuhlman. | | x | Herbáceo | Hm |
| | <i>Eragrostis articulata</i> Nees | | x | Herbáceo | Hm |
| | <i>Paspalum urvillei</i> Steud. | | x | Herbáceo | Hm |
| | <i>Setaria parviflora</i> (Poir.) Kerguelen | | x | Herbáceo | Hm |
| | <i>Sporobolus</i> sp. | | x | Herbáceo | Hm |
| | <i>Trachypogon spicatus</i> Kuntze | | x | Herbáceo | Hm |
| Polygalaceae | | | | | |
| | <i>Polygala paniculata</i> L. | x | x | Herbáceo | T, C |
| Portulacaceae | | | | | |
| | <i>Portulaca hirsutissima</i> Cambess. | x | x | Herbáceo | |
| | <i>Portulaca mucronata</i> Link. | x | | Herbáceo | |
| Rubiaceae | | | | | |
| | <i>Borreria capitata</i> DC. | x | | Herbáceo | C |
| | <i>Borreria</i> sp | x | | Herbáceo | C |
| | <i>Spermacocea</i> sp. 1 | x | | Herbáceo | |
| | <i>Spermacocea</i> sp. 2 | x | | Herbáceo | |
| | <i>Diodella apiculata</i> (Willd. ex Roem. & Schult.) | | x | Herbáceo | C |
| | <i>Richardia brasiliensis</i> Gomez | | x | Herbáceo | T, C |
| | <i>Spermacocea verticillata</i> L. | | x | Herbáceo | Hm |
| Sapindaceae | | | | | |
| | <i>Cordia concolor</i> (Cham.) Kuntze | x | | | |
| | <i>Serjania</i> sp. | x | | | |
| Thelypteridaceae | | | | | |
| | <i>Thelypteris dentata</i> (Forssk.) E.P.St.John | | x | Herbáceo | |
| Solanaceae | | | | | |
| | <i>Calibrachoa elegans</i> (Miers) Stehmann & Semir | x | | Herbáceo | T, Hm |
| | <i>Physalis</i> sp | x | | Herbáceo | |
| | <i>Schwenkia americana</i> L. | x | | Herbáceo | |

| Família | Espécie | Topsoil | | Hábito | Forma de vida |
|-------------|---------------------------------------|----------|----------|-----------|---------------|
| | | 10 meses | 49 meses | | |
| | <i>Solanum americanum</i> Mill. | x | | Herbáceo | T, C |
| | <i>Solanum palinacanthum</i> Dunal | x | | Herbáceo | T, C |
| | <i>Solanum refractifolium</i> Sendtn. | x | | Herbáceo | T, C |
| Urticaceae | | | | | |
| | <i>Cecropia pachystachya</i> Trécul | | x | Arbóreo | F |
| | <i>Pilea microphylla</i> Liebm. | | x | Herbáceo | Hm |
| Verbenaceae | | | | | |
| | <i>Lantana fucata</i> Lindl. | x | x | Arbustivo | C |
| | <i>Lippia gracilis</i> Schauer ex DC. | x | x | Arbustivo | C |
| | <i>Stachytarpheta glabra</i> Cham. | x | x | Arbustivo | F |

3.4. Fitossociologia do topsoil

A fitossociologia das plantas estabelecidas no *topsoil* foi realizada apenas aos 49 meses do plantio considerando as parcelas de 20 e 40 cm. Os parâmetros fitossociológicos das espécies amostradas nas parcelas de 20 e 40 cm encontram-se respectivamente nas Tabelas 9 e 10

Nas parcelas de 20 cm foram amostradas 58 espécies e nas parcelas de 40 cm, 45 espécies. Tanto as parcelas de 20 cm quanto as de 40 cm de *topsoil* apresentaram nas posições de maior VI espécies consideradas invasoras exóticas ou nativas como *Melinis minutiflora*, *Achyrocline satureioides*, *Triumfetta semitriloba* e *Sida glaziovii*. É interessante notar que o valor de VI nem sempre nos fornece informação completa sobre a influência das plantas sobre o estabelecimento das espécies de interesse. A espécie *Sida glaziovii*, por exemplo, apesar de ser amostrada em mais de 50 % das parcelas de 20 cm, apresenta baixa porcentagem de cobertura. Foi observado que a restrição ao estabelecimento das espécies de campo rupestre ferruginoso está associada principalmente as espécies invasoras com elevada cobertura.

Nas parcelas de 20 cm as espécies invasoras contribuíram com 43,3 % da cobertura, enquanto nas parcelas de 40 cm essas espécies foram responsáveis por 62,7 % da cobertura. A remoção dessas plantas por meio de capinas seletivas pode alterar o rumo da sucessão ecológica (Figuras 9 e 10)

Sebastiania glandulosa foi a única espécie relacionada a campo rupestre sobre canga a ocupar elevado VI para ambas as espessuras de *topsoil*. Segundo Viana (2006), trata-se de uma espécie rupícola que ocorre preferencialmente em áreas de canga couraçada. Em levantamento fitossociológico em área natural na mina de Segredão, em Sabará, MG, Santos (2010) encontrou valores semelhantes de VI para essa espécie.

As espécies introduzidas através de plantio de mudas *Arthrocereus glaziovii*, *Hoffmannseggella crispata*, *Paliavana sericiflora*, *Vellozia graminea*, *Vellozia compacta*,

Vellozia caruncularis e *Vriesea minarum* apresentam preferência por ambientes de canga com vegetação mais aberta, podendo ter seu desenvolvimento prejudicado em áreas colonizadas por espécies invasoras. O aumento da cobertura vegetal pode modificar a dinâmica das populações nativas uma vez que interfere na temperatura, umidade, luminosidade e até sobre a disponibilidade de nutrientes do substrato. Nesses casos, é necessário realizar capina manual seletiva buscando retirar as fontes de propagação dessas plantas para evitar as infestações.

Foram amostradas espécies típicas dos ambientes de campo rupestre ferruginoso que não foram introduzidas através de plantio, o que sugere fortemente que essas espécies são capazes de formar banco de sementes. São elas *Mimosa calodendron*, *Stachytarpheta glabra*, *Vellozia albiflora*, *Cryptanthus schwackeanus*, *Lycnophora pinaster*, *Portulaca hirsutissima*. A amostragem dessas espécies reforça a importância da utilização do *topsoil* em diferentes espessuras em projetos de restauração visando favorecer o estabelecimento de espécies do gradiente de vegetação do Complexo Rupestre sobre canga.

Tabela 9 Parâmetros fitossociológicos das espécies amostradas no *topsoil* nas parcelas de 20 cm.

| Nome Científico | N _i | CoA | CoR | FA | FR | IVI |
|--|----------------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| <i>Achyrocline satureioides</i> (Lam.) DC. | 61 | 13,05 | 20,72 | 76,25 | 10,85 | 15,79 |
| <i>Sebastiania glandulosa</i> Müll.Arg. | 66 | 6,6 | 10,48 | 82,5 | 11,74 | 11,11 |
| <i>Axonopus siccus</i> Kuhl. | 33 | 6,89 | 10,94 | 41,25 | 5,87 | 8,41 |
| <i>Andropogon bicornis</i> L. | 27 | 7 | 11,11 | 33,75 | 4,80 | 7,96 |
| <i>Sida glaziovii</i> K.Schum. | 43 | 3,1 | 4,92 | 53,75 | 7,65 | 6,29 |
| <i>Melinis minutiflora</i> P.Beauv. | 34 | 2,25 | 3,57 | 42,5 | 6,05 | 4,81 |
| <i>Triumfetta semitriloba</i> Jacq. | 26 | 1,75 | 2,78 | 32,5 | 4,63 | 3,70 |
| <i>Tibouchina multiflora</i> Cogn. | 19 | 2,3 | 3,65 | 23,75 | 3,38 | 3,52 |
| <i>Emilia fosbergii</i> Nicolson | 25 | 1,55 | 2,46 | 31,25 | 4,45 | 3,45 |
| <i>Bulbostylis fimbriata</i> C.B.Clarke | 19 | 1,5 | 2,38 | 23,75 | 3,38 | 2,88 |
| <i>Sporobolus</i> sp. | 13 | 1,3 | 2,06 | 16,25 | 2,31 | 2,19 |
| <i>Tagetes</i> sp. | 12 | 1,25 | 1,98 | 15 | 2,14 | 2,06 |
| <i>Stachytarpheta glabra</i> Cham. | 12 | 1,15 | 1,83 | 15 | 2,14 | 1,98 |
| <i>Ageratum fastigiatum</i> (Gardner) R.M.King & H.Rob. | 10 | 0,9 | 1,43 | 12,5 | 1,78 | 1,60 |
| Indeterminada | 9 | 0,95 | 1,51 | 11,25 | 1,60 | 1,55 |
| <i>Polygala paniculata</i> L. | 12 | 0,6 | 0,95 | 15 | 2,14 | 1,54 |
| <i>Hoffmannseggella crispata</i> (Thunb.) H.G.Jones | 11 | 0,65 | 1,03 | 13,75 | 1,96 | 1,49 |
| <i>Lippia gracilis</i> Schauer ex DC. | 9 | 0,75 | 1,19 | 11,25 | 1,60 | 1,40 |
| <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist | 10 | 0,55 | 0,87 | 12,5 | 1,78 | 1,33 |
| <i>Chamaesyce hyssopifolia</i> Small | 10 | 0,5 | 0,79 | 12,5 | 1,78 | 1,29 |
| <i>Vellozia albiflora</i> Pohl | 5 | 0,65 | 1,03 | 6,25 | 0,89 | 0,96 |
| <i>Baccharis dracunculifolia</i> DC. | 6 | 0,45 | 0,71 | 7,5 | 1,07 | 0,89 |
| <i>Bidens pilosa</i> L. | 6 | 0,35 | 0,56 | 7,5 | 1,07 | 0,81 |
| <i>Spermaceoce verticillata</i> L. | 5 | 0,45 | 0,71 | 6,25 | 0,89 | 0,80 |
| <i>Phyllanthus rosellus</i> Müll.Arg. | 5 | 0,4 | 0,64 | 6,25 | 0,89 | 0,76 |
| <i>Vellozia compacta</i> Mart. | 4 | 0,5 | 0,79 | 5 | 0,71 | 0,75 |
| <i>Andropogon ingratus</i> Hack. | 2 | 0,6 | 0,95 | 2,5 | 0,36 | 0,65 |
| <i>Anthurium minarum</i> Sakur. & Mayo | 4 | 0,3 | 0,48 | 5 | 0,71 | 0,59 |
| <i>Commelina erecta</i> L. | 4 | 0,3 | 0,48 | 5 | 0,71 | 0,59 |
| <i>Gnaphalium</i> sp. | 4 | 0,3 | 0,48 | 5 | 0,71 | 0,59 |
| <i>Crocasmia crocosmiiflora</i> (G.Nicholson) N.E.Br. | 4 | 0,25 | 0,40 | 5 | 0,71 | 0,55 |
| <i>Senna obtusifolia</i> (L.) H.S.Irwin & Barmeby | 4 | 0,25 | 0,40 | 5 | 0,71 | 0,55 |
| <i>Cryptanthus schwackeanus</i> Mez | 4 | 0,2 | 0,32 | 5 | 0,71 | 0,51 |
| <i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka | 4 | 0,2 | 0,32 | 5 | 0,71 | 0,51 |
| <i>Thelypteris dentata</i> (Forssk.) E.P.St.John | 4 | 0,2 | 0,32 | 5 | 0,71 | 0,51 |
| <i>Marsipianthes chamaedrys</i> (Vahl) Kuntze | 3 | 0,2 | 0,32 | 3,75 | 0,53 | 0,43 |
| <i>Alternanthera brasiliana</i> Kuntze | 2 | 0,3 | 0,48 | 2,5 | 0,36 | 0,42 |
| <i>Lychnophora pinaster</i> Mart. | 3 | 0,15 | 0,24 | 3,75 | 0,53 | 0,39 |
| <i>Billbergia elegans</i> Mart. ex Schult.f. | 2 | 0,2 | 0,32 | 2,5 | 0,36 | 0,34 |
| <i>Trachypogon spicatus</i> Kuntze | 2 | 0,2 | 0,32 | 2,5 | 0,36 | 0,34 |
| <i>Pilea microphylla</i> Liebm. | 2 | 0,15 | 0,24 | 2,5 | 0,36 | 0,30 |
| <i>Vriesea minarum</i> L.B.Sm. | 2 | 0,15 | 0,24 | 2,5 | 0,36 | 0,30 |
| <i>Cyperus</i> sp. | 2 | 0,1 | 0,16 | 2,5 | 0,36 | 0,26 |
| <i>Oxalis corniculata</i> L. | 2 | 0,1 | 0,16 | 2,5 | 0,36 | 0,26 |
| <i>Paliavana sericiflora</i> Benth. | 2 | 0,1 | 0,16 | 2,5 | 0,36 | 0,26 |
| <i>Vellozia caruncularis</i> Mart. ex Seub. | 2 | 0,1 | 0,16 | 2,5 | 0,36 | 0,26 |
| <i>Dyckia consimilis</i> Mez | 1 | 0,2 | 0,32 | 1,25 | 0,18 | 0,25 |
| <i>Mimosa calodendron</i> Mart. | 1 | 0,2 | 0,32 | 1,25 | 0,18 | 0,25 |
| <i>Eragrostis articulata</i> Nees | 1 | 0,15 | 0,24 | 1,25 | 0,18 | 0,21 |
| <i>Eriope macrostachya</i> Mart. ex Benth. | 1 | 0,15 | 0,24 | 1,25 | 0,18 | 0,21 |
| <i>Arthrocerus glaziovii</i> (K.Schum.) N.P.Taylor & Zappi | 1 | 0,1 | 0,16 | 1,25 | 0,18 | 0,17 |
| <i>Clusia arrudea</i> Planch. e Triana | 1 | 0,1 | 0,16 | 1,25 | 0,18 | 0,17 |
| <i>Setaria parviflora</i> (Poir.) Kerguélen | 1 | 0,1 | 0,16 | 1,25 | 0,18 | 0,17 |
| <i>Ageratum conyzoides</i> L. | 1 | 0,05 | 0,08 | 1,25 | 0,18 | 0,13 |
| <i>Chromolaena laevigata</i> (Lam.) R.M.King & H.Rob. | 1 | 0,05 | 0,08 | 1,25 | 0,18 | 0,13 |
| <i>Eragrostis</i> sp. | 1 | 0,05 | 0,08 | 1,25 | 0,18 | 0,13 |
| <i>Portulaca hirsutissima</i> Cambess. | 1 | 0,05 | 0,08 | 1,25 | 0,18 | 0,13 |
| <i>Vellozia graminea</i> Pohl | 1 | 0,05 | 0,08 | 1,25 | 0,18 | 0,13 |
| Total | 80 | 62,99 | 100,00 | 702,5 | 100,00 | 100,00 |

N_i = Número de quadrantes onde a espécie *i* foi encontrada. CoA = Cobertura Absoluta. CoR = Cobertura Relativa. FA = Frequencia Absoluta. FR = Frequencia Relativa. IVI = Índice de Valor de Importância.

Tabela 10. Parâmetros fitossociológicos das espécies amostradas no *topsoil* nas parcelas de 40 cm.

| Nome Científico | N | CoA | CoR | FA | FR | IVI |
|---|----|-------|-------|--------|-------|-------|
| <i>Sebastiania glandulosa</i> Müll.Arg. | 55 | 8,65 | 13,66 | 68,75 | 12,70 | 13,18 |
| <i>Melinis minutiflora</i> P.Beauv. | 41 | 9,6 | 15,16 | 51,25 | 9,47 | 12,32 |
| <i>Triumfetta semitriloba</i> Jacq. | 47 | 8,65 | 13,66 | 58,75 | 10,85 | 12,26 |
| <i>Achyrocline satureioides</i> (Lam.) DC. | 47 | 7,16 | 11,31 | 58,75 | 10,85 | 11,08 |
| <i>Commelina erecta</i> L. | 35 | 4,4 | 6,95 | 43,75 | 8,08 | 7,52 |
| <i>Axonopus siccus</i> Kuhl. | 21 | 5,2 | 8,21 | 26,25 | 4,85 | 6,53 |
| <i>Sida glaziovii</i> K.Schum. | 29 | 2,3 | 3,63 | 36,25 | 6,70 | 5,17 |
| <i>Ageratum fastigiatum</i> (Gardner) R.M.King & H.Rob. | 25 | 2,25 | 3,55 | 31,25 | 5,77 | 4,66 |
| <i>Senna obtusifolia</i> (L.) H.S.Irwin & Barneby | 15 | 1,8 | 2,84 | 18,75 | 3,46 | 3,15 |
| <i>Spermaceoce verticillata</i> L. | 14 | 1,5 | 2,37 | 17,5 | 3,23 | 2,80 |
| <i>Andropogon bicornis</i> L. | 9 | 0,85 | 1,34 | 11,25 | 2,08 | 1,71 |
| <i>Lippia gracilis</i> Schauer ex DC. | 9 | 0,85 | 1,34 | 11,25 | 2,08 | 1,71 |
| <i>Mimosa calodendron</i> Mart. | 3 | 1,55 | 2,45 | 3,75 | 0,69 | 1,57 |
| <i>Bulbostylis fimbriata</i> C.B.Clarke | 8 | 0,8 | 1,26 | 10 | 1,85 | 1,56 |
| <i>Tibouchina multiflora</i> Cogn. | 4 | 1,05 | 1,66 | 5 | 0,92 | 1,29 |
| <i>Vellozia albiflora</i> Pohl | 5 | 0,85 | 1,34 | 6,25 | 1,15 | 1,25 |
| <i>Stachytarpheta glabra</i> Cham. | 4 | 0,85 | 1,34 | 5 | 0,92 | 1,13 |
| <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist | 7 | 0,4 | 0,63 | 8,75 | 1,62 | 1,12 |
| <i>Sporobolus</i> sp. | 5 | 0,5 | 0,79 | 6,25 | 1,15 | 0,97 |
| <i>Tagetes</i> sp. | 6 | 0,3 | 0,47 | 7,5 | 1,39 | 0,93 |
| <i>Baccharis dracunculifolia</i> DC. | 5 | 0,35 | 0,55 | 6,25 | 1,15 | 0,85 |
| <i>Bidens pilosa</i> L. | 4 | 0,35 | 0,55 | 5 | 0,92 | 0,74 |
| <i>Eriope macrostachya</i> Mart. ex Benth. | 3 | 0,25 | 0,39 | 3,75 | 0,69 | 0,54 |
| <i>Anthurium minarum</i> Sakur. & Mayo | 3 | 0,15 | 0,24 | 3,75 | 0,69 | 0,46 |
| <i>Chamaesyce hyssopifolia</i> Small | 3 | 0,15 | 0,24 | 3,75 | 0,69 | 0,46 |
| <i>Cupania</i> sp. | 2 | 0,25 | 0,39 | 2,5 | 0,46 | 0,43 |
| <i>Vernonanthura phosphorica</i> (Vell.) H.Rob. | 2 | 0,25 | 0,39 | 2,5 | 0,46 | 0,43 |
| <i>Ipomoea ramosissima</i> Choisy | 1 | 0,3 | 0,47 | 1,25 | 0,23 | 0,35 |
| <i>Dyckia consimilis</i> Mez | 2 | 0,15 | 0,24 | 2,5 | 0,46 | 0,35 |
| <i>Emilia fosbergii</i> Nicolson | 2 | 0,1 | 0,16 | 2,5 | 0,46 | 0,31 |
| <i>Portulaca hirsutissima</i> Cambess. | 2 | 0,1 | 0,16 | 2,5 | 0,46 | 0,31 |
| <i>Vellozia caruncularis</i> Mart. ex Seub. | 2 | 0,1 | 0,16 | 2,5 | 0,46 | 0,31 |
| <i>Alternanthera brasiliiana</i> Kuntze | 1 | 0,2 | 0,32 | 1,25 | 0,23 | 0,27 |
| <i>Billbergia elegans</i> Mart. ex Schult.f. | 1 | 0,2 | 0,32 | 1,25 | 0,23 | 0,27 |
| <i>Verbena brasiliensis</i> Vell. | 1 | 0,2 | 0,32 | 1,25 | 0,23 | 0,27 |
| <i>Epidendrum secundum</i> Jacq. | 1 | 0,15 | 0,24 | 1,25 | 0,23 | 0,23 |
| <i>Vellozia compacta</i> Mart. | 1 | 0,15 | 0,24 | 1,25 | 0,23 | 0,23 |
| <i>Cecropia pachystachya</i> Trécul | 1 | 0,05 | 0,08 | 1,25 | 0,23 | 0,15 |
| <i>Cryptanthus schwackeanus</i> Mez | 1 | 0,05 | 0,08 | 1,25 | 0,23 | 0,15 |
| <i>Hoffmannseggella crispata</i> (Thunb.) H.G.Jones | 1 | 0,05 | 0,08 | 1,25 | 0,23 | 0,15 |
| <i>Lychnophora pinaster</i> Mart. | 1 | 0,05 | 0,08 | 1,25 | 0,23 | 0,15 |
| <i>Plantago major</i> L. | 1 | 0,05 | 0,08 | 1,25 | 0,23 | 0,15 |
| <i>Polygala paniculata</i> L. | 1 | 0,05 | 0,08 | 1,25 | 0,23 | 0,15 |
| <i>Thelypteris dentata</i> (Forssk.) E.P.St.John | 1 | 0,05 | 0,08 | 1,25 | 0,23 | 0,15 |
| <i>Vriesea minarum</i> L.B.Sm. | 1 | 0,05 | 0,08 | 1,25 | 0,23 | 0,15 |
| Total | 80 | 63,31 | 100 | 541,25 | 100 | 100 |

Ni = Número de quadrantes onde a espécie i foi encontrada. CoA = Cobertura Absoluta. CoR = Cobertura Relativa. FA = Frequencia Absoluta. FR = Frequencia Relativa. IVI = Índice de Valor de Importância.

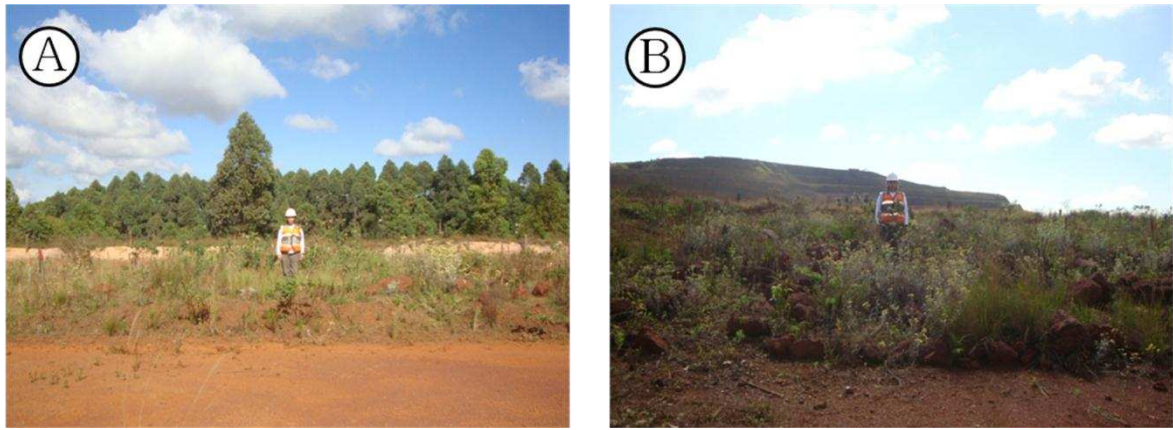


Figura 9. Aspecto geral de parcelas de 20 cm (A) e 40 cm (B) de *topsoil*.



Figura 10 A) Aspecto geral de parcela de 20 cm evidenciando infestação de *Achyrocline satureioides*. B) Aspecto geral de parcela de 40 cm.

4. Conclusões

- O estabelecimento de parcelas com diferentes espessuras de *topsoil* cria um mosaico semelhante ao das áreas naturais permitindo estabelecimento de maior biodiversidade.
- A porcentagem de cobertura vegetal do *topsoil* está relacionada com sua espessura, sendo maior onde há maior volume de substrato, situação observada em áreas naturais do Complexo Rupestre sobre Canga.
- A sobrevivência da comunidade de plantas reintroduzidas em campo diminui com o passar do tempo, entretanto individualmente as espécies apresentam porcentagens de sobrevivência distintas.

- A regeneração natural contribuiu para o aumento da biodiversidade da área experimental.
- As espécies que mais contribuem com a cobertura vegetal das parcelas são consideradas invasoras.

5. Referências bibliográficas

- ABREU, M. E. P.; GARCIA, Q. S. Efeito da luz e da temperatura na germinação de sementes de quatro espécies de *Xyris* L. (Xyridaceae) ocorrentes na Serra do Cipó, MG, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 1, p. 149-154, 2005.
- ANTUNES, F. Z. Caracterização climática do estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v. 12, n. 138, p. 9-13, 1986.
- ATAÍDE, E. S.; CASTRO, P. T. A.; FERNANDES, G. W. Florística e caracterização de uma área de campo ferruginoso no Complexo Minerário Alegria, Serra de Antônio Pereira, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. **Revista Árvore**, v. 35, p. 1265-1275, 2011. ISSN 0100-6762. Disponível em: <
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622011000700013&nrm=iso >.
- BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. Germination ecophysiology of herbaceous plant species in a temperate region. **American Journal of Botany**, p. 286-305, 1988. ISSN 0002-9122.
- BREMER, B.; BREMER, K.; CHASE, M.; FAY, M.; REVEAL, J.; SOLTIS, D.; SOLTIS, P.; STEVENS, P. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 2009.
- CRAWLEY, M. J. **The R book**. John Wiley & Sons, 2012. ISBN 1118448960.
- DRUMMOND, G. M.; MARTINS, C. S.; MACHADO, A. B. M.; SEBAIO, F. A.; ANTONINI, Y. **Biodiversidade em Minas Gerais: um Atlas para sua conservação**. 2ª ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005.
- ECOLAB. Estudo de Impacto Ambiental de Capão Xavier-EIA. In: (Ed.). **Relatório**. Belo Horizonte, 2002.
- EIJSACKERS, H. Soil quality assessment in an international perspective: generic and land-use based quality standards. **Ambio**, v. 27, n. 1, p. 70-77, 1998. ISSN 0044-7447.

- IPNI, T. I. P. N. I., 2012. Disponível em: < <http://www.ipni.org> >. Acesso em: 20/07/2013.
- JACOBI, C.;CARMO, F. Diversidade dos campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, MG. **Megadiversidade**, v. 4, n. 1-2, p. 24-32, 2008.
- MENDONÇA, M. P. **O resgate da flora da Canga**. Belo Horizonte: Valor Natural, 2013.
- MENDONÇA, M. P.;LINS, L. V. **Lista vermelha das espécies ameaçadas de extinção da flora de Minas Gerais**. Fundação Biodiversitas, 2000. ISBN 8585401125.
- MESSIAS, M. C. T. B.; LEITE, M. G. P.; MEIRA-NETO, J. A. A.;KOZOVITS, A. R. Fitossociologia de campos rupestres quartzíticos e ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, p. 230-242, 2012. ISSN 0102-3306. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062012000100022&nrm=iso >.
- MOURÃO, A.;STEHMANN, J. R. Levantamento da flora do campo rupestre sobre canga hematítica couraçada remanescente na mina de Brucutu, Barão de Cocais, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, v. 58, n. 4, p. 775-786, 2007.
- MUELLER-DOMBOIS, D.;ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1974. 574 p.
- PEREIRA, A. F. S. F., FITOSSOCIOLOGIA E RELAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO. **Florística, fitossociologia e relação solo-vegetação em campo rupestre ferruginoso do Quadrilátero Ferrífero, MG**.
. 2010. 97 p. (Mestrado). Departamento de Botânica, Universidade Federal de Viçosa
- PROBERT, R. J. The role of temperature in germination ecophysiology. **FENNER, M. Seeds: the ecology of regeneration in plant communities**. Wallingford: CABI, p. 285-325, 1992.
- REFLORA, L. D. E. D. F. D. B., 2013. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >. Acesso em: 20/07/2013.
- SANTOS, L. M. **Restauração de campos ferruginosos mediante resgate de flora e uso de topsoil no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. 2010. 181 (Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais
- TEAM, R. D. C. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing 2005.

- VÁZQUEZ-YANES, C.;OROZCO-SEGOVIA, A. Patterns of seed longevity and germination in the tropical rainforest. **Annual Review of ecology and Systematics.**, p. 69-87, 1993. ISSN 0066-4162.
- VIANA, P. L.;FILGUEIRAS, T. S. Inventário e distribuição geográfica das gramíneas (Poaceae) na Cadeia do Espinhaço, Brasil. **Megadiversidade**, v. 4, p. 99-116, 2008.
- VIANA, P. L.;LOMBARDI, J. A. Florística e caracterização dos campos rupestres sobre canga na Serra da Calçada, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, v. 58, n. 1, p. 159-177, 2007.
- VINCENT, R. C. **Florística, fitossociologia e relações entre a vegetação eo solo em áreas de campos ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. 2004. 144 p. (Doutrado). Departamento de Ecologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- VOOS, M.;SIDIRAS, N. Nodulação da soja em plantio direto em comparação com plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, p. 775-778, 1985.

Capítulo 3

Comportamento térmico de solos associados a formações vegetais do Complexo Rupestre sobre Canga em Carajás-PA

Resumo

REZENDE, Lina Andrade Lobo de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2013. **Comportamento térmico de solos associados a formações vegetais do Complexo Rupestre sobre Canga em Carajás-PA.** Orientador: Luiz Eduardo Dias. Coorientadores: Elpídio Inácio Fernandes Filho e Igor Rodrigues de Assis.

A utilização de *topsoil* é uma prática comum em programas de restauração de áreas degradadas. A remoção e deposição do *topsoil* pode alterar suas características físicas modificando seu comportamento térmico e hídrico. Essas modificações podem ocasionar o estabelecimento de espécies diferentes das que compõem as fitofisionomias que se pretende restaurar. O estudo do comportamento térmico de solos em ambientes naturais pode contribuir para explicar peculiaridades biogeográficas de espécies nativas, permitindo o entendimento do estabelecimento destas plantas em determinados habitats. Visando compreender melhor o estabelecimento e a colonização das plantas dos Campos rupestres ferruginosos em ambientes em restauração, foram instalados sensores de temperatura em diferentes profundidades em três solos associados a fitofisionomias que compõe o gradiente de vegetação da Serra Sul (PA): Campo Rupestre Ferruginoso (CRF), Campo Rupestre Arbustivo (CRA) e Capão de mata sobre canga (CMC). Através desses registros, calculou-se a difusividade térmica desses solos pelos métodos de Decico (1974) e Smith (1942). As maiores temperaturas foram registradas para o solo do CRF, fato atribuído a baixa cobertura vegetal desses ambientes. O aporte de matéria orgânica nessas áreas é reduzido, ocasionando elevada amplitude térmica diária nas profundidades avaliadas. A variação de temperatura e o déficit hídrico que ocorre nesse solo favorece o estabelecimento de vegetação especializada com alto grau de endemismo. Os solos de CRF apresentam maior difusividade térmica em função principalmente do contato entre as partículas do solo e a composição da fração argila, onde predominam óxidos de ferro. Esses resultados indicam que é necessário o estabelecimento de protocolos de preparo de solo de forma a garantir condições ambientais específicas para as diferentes fitofisionomias que se pretenda restaurar.

Abstract

REZENDE, Lina Andrade Lobo de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, october, 2013. **Ecological Thermal behavior of soils associated with plant formations on the Rocky complex (Canga) in Carajás-PA.** Adviser: Luiz Eduardo Dias. Co-advisers: Elpídio Inácio Fernandes Filho e Igor Rodrigues de Assis.

The use of *topsoil* is a common practice for the restoration of degraded areas. The removal and disposal of *topsoil* can change its physical characteristics modifying its thermal and hydric behavior. These changes may lead to the establishment of species that doesn't make up the vegetation type of the area to be restored. The thermal and hydric behavior of soils in natural environments may contribute to explain biogeographical peculiarities of native species, allowing the understanding of the establishment of these plants in certain habitats. In this sense, were installed temperature and humidity sensors at different depths in three soils associated phytophysiognomies that compose the vegetation gradient of Serra Sul (PA): Rocky field on ferruginous substrate (CRF), Scrubby rocky field (CRA) and Forest Formations (CMC). Through these records, we calculated the thermal diffusivity of these soils by methods Decico (1974) and Smith (1942). The highest temperatures were recorded for the soil of CRF, which was attributed to low vegetation cover on these environments. The input of organic matter in these areas is reduced, resulting in high thermal amplitude on evaluated depths. The lower water contents were also recorded on this soil, which has lower water storage capacity due to its shallowness. The temperature and water deficit that occurs in the soil favors the establishment of specialized vegetation with a high degree of endemism. Soils CRF have higher thermal diffusivity mainly due to the contact between the soil particles and the composition of the clay fraction, which predominantly iron oxides. These results indicate that it is necessary to establish protocols to soil preparation to ensure specific environmental conditions for the different vegetation types that you want to restore.

1. Introdução

A Serra dos Carajás insere-se na região centro-sul do Pará, estendendo-se por mais 160 km em seu eixo maior no sentido leste para oeste e 60 km de largura de norte para sul. O corpo principal da serra estende-se de leste para oeste, com ligeiro deslocamento para W-NW, seguindo o rumo dos velhos dobramentos do Cráton sul-amazônico (Ab'saber, 1986). O clima é tropical com verão chuvoso, do tipo Aw na classificação de Köppen, caracterizado por invernos secos e verões chuvosos. É nessa área que se encontram as maiores jazidas de ferro de alto teor do mundo.

Os platôs de canga ferrífera de Carajás fazem parte do Planalto Dissecado do Sul do Pará (Brasil, 1974) e são formados por uma espessa camada laterítica desenvolvida sobre metavulcanitos básicos e ácidos, além de formações ferríferas bandadas do Grupo Grão Pará (Docegeo, 1988). Segundo Corrêa (2011), essas áreas estão expostas ao intemperismo desde o Mesozóico, motivo pelo qual o jaspilito que deu origem à canga é raramente encontrado em superfície.

A Serra Sul representa o mais extenso platô de canga na paisagem da Serra de Carajás abrigando diversos ecossistemas com elevado grau de conservação (Ribeiro, 2005). Apresenta complexa paisagem onde se estabeleceram diferentes fitofisionomias associadas a diferentes pedoambientes formando um gradiente de vegetação que grada de formações campestres a formações florestais.

Alguns trabalhos já foram realizados na Serra Sul com objetivo de caracterizar os solos e esclarecer a relação solo-vegetação das formações do complexo rupestre sobre canga (Corrêa, 2011; Nunes, 2009; Ribeiro, 2005; Schaefer *et al.*, 2008).

Foram identificadas por Schaefer *et al.* (2008) dez unidades geoambientais das quais, quatro foram caracterizadas quanto à florística e fitossociologia por Nunes (2009). Os dados apresentados nesse trabalho foram coletados em formações denominadas por esses autores por Campo rupestre aberto (correspondente ao Campo rupestre ferruginoso), Campo rupestre arbustivo e Capão de mata sobre canga.

Os Campos rupestres abertos ocorrem na paisagem em encostas com altitudes entre 700 e 900 m e associados a solo raso denominado Plintossolo Pétrico Litoplíntico típico. No topo dos morros ocorrem afloramentos rochosos hematíticos (canga) e a vegetação se torna mais aberta. Essas áreas apresentam solo raso com uma série de fatores restritivos ao estabelecimento da vegetação, tais como baixa disponibilidade de água e nutrientes, elevada amplitude térmica diária, ventos, alta radiação solar e baixa umidade relativa do ar. A inter-relação desses fatores estressores ocasiona especialização da vegetação, que apresenta elevado grau de endemismo. Os Campos rupestres arbustivos ocorrem nas encostas associados a Plintossolo Pétrico Litoplíntico típico pouco mais profundo. À medida que se desce a encosta, em áreas na paisagem onde há maior acúmulo de solo ocorrem

formações florestais, chamadas de Capões de mata sobre canga. Essa formação ocorre associada à Plintossolo Pétrico Concrecionário Latossólico e Plintossolo Pétrico Concrecionário Cambissólico. A vegetação do complexo rupestre sobre canga desenvolve-se, portanto sobre solos com características físicas, químicas e mineralógicas distintas.

A distribuição geográfica de muitas plantas é determinada, entre outros fatores, pela faixa de condições ambientais toleradas para a germinação de suas sementes (Labouriau, 1983). A temperatura do solo é elemento de fundamental importância agrícola e ecológica pelo papel que desempenha nas interações solo-planta. Essa importância está relacionada às influências em inúmeros processos, destacando-se a germinação das sementes, o desenvolvimento e a atividade das raízes em absorver água e nutrientes do solo, a atividade de microrganismos, a difusão de solutos e gases, o desenvolvimento de moléstias e a velocidade das reações químicas do solo (Bergamaschi e Guadagnin, 1993). Dessa forma, estudos que abordam comportamento térmico do solo podem contribuir para explicar peculiaridades biogeográficas de espécies nativas, permitindo o entendimento do estabelecimento destas plantas em determinados habitats. Esse estudo tem como objetivo avaliar através de registros de temperatura o comportamento térmico de três solos do complexo rupestre sobre canga localizados na Serra Sul em Carajás e contribuir para o melhor entendimento dos processos de colonização e estabelecimento das plantas rupestres.

2. Material e Métodos

2.1. Caracterização da área de estudo

Na região de Carajás o clima é tropical, quente e úmido enquadrado na classificação de Köppen como tipo "AW". Possui temperaturas mensais médias entre 19 e 31 °C, caracterizado por duas estações distintas, uma seca de maio a outubro e úmida de novembro a abril, com período de chuvas torrenciais (Nunes, 2009).

Foram estudados solos associados a três fitofisionomias que compõem o gradiente fitofisionômico da Serra Sul (Figura 1). São elas o Campo rupestre aberto ou ferruginoso (CRF), o Campo rupestre arbustivo (CRA) e o Capão de mata sobre canga (CMC). Os solos foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (Embrapa, 2006) (Tabela 1). Trata-se de solos que se originaram do intemperismo de jaspilites e que apresentam como minerais dominantes na fração argila hematita, goethita, maghemita e quartzo (Ribeiro, 2010).

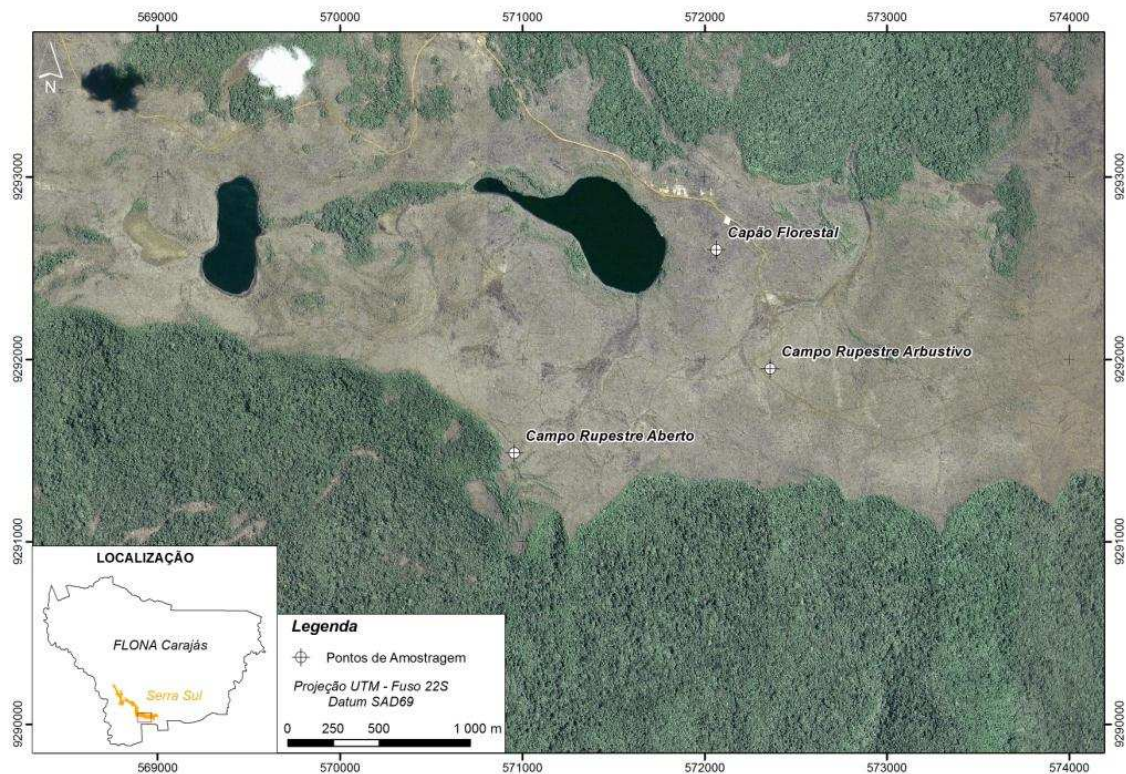


Figura 1. Área de estudo e localização dos pontos onde foram instalados os sensores de temperatura e umidade na Serra Sul, Pará.

Tabela 1. Características das áreas monitoradas

| Local | Classe de solo | Vegetação predominante |
|--|---|--|
| Campo Rupestre Ferruginoso (CRF) (Campo Rupestre Aberto) | Plintossolo Pétrico Litoplíntico típico | Formação herbáceo-arbustiva com baixa cobertura vegetal. |
| Campo Rupestre Arbustivo (CRA) | Plintossolo Pétrico Litoplíntico típico | Formação arbustiva com média cobertura vegetal |
| Capão de Mata sobre Canga (CMC) | Plintossolo concrecionário câmbico | Formação florestal com elevada cobertura vegetal. |

2.2. Instalação dos sensores

Foi instalado sistema de datalogger (Campbell Scientific) conectado a sensores de temperatura do solo (T107) em área de Campo rupestre ferruginoso (CRF), Campo rupestre

arbustivo (CRA) e Capão de mata sobre canga (CMC). Os sensores foram programados para obter os valores de temperatura e umidade em intervalos de 1 hora, sendo instalados considerando a profundidade de contato entre os horizontes superficiais dos solos de CRF, CRA e CMC com seu horizonte litoplântico. Para CRF e CRA, os sensores foram instalados a 10 e 20 cm e para o CMC a 10, 20 e 50 cm. Todos os sensores foram instalados em Julho de 2009 e os dados foram coletados por um período de oito meses (Julho de 2009 a Fevereiro de 2010).

2.3. Cálculo da difusividade térmica

Para o cálculo da difusividade térmica foram utilizados os dados de temperatura média diária de 10 dias para os três ambientes em estudo. A difusividade térmica foi obtida por meio dos métodos do atraso (Decico, 1974) e amplitude (Smith, 1942). O método do atraso consiste no cálculo da difusividade térmica considerando o atraso existente entre os picos de temperatura entre duas profundidades. O atraso, ou defasagem é tanto maior quanto maior for a profundidade.

$$D = \frac{1}{2\omega} \left(\frac{z_2 - z_1}{t_2 - t_1} \right)^2$$

em que:

D = Difusividade térmica; ω = velocidade angular da Terra ($2\pi/24$ radianos/hora); z_1 e z_2 = profundidades 1 e 2; t_1 e t_2 = Tempo (hora) correspondente ao pico de temperatura nas profundidades z_1 e z_2 , respectivamente.

O método da amplitude consiste no cálculo da difusividade térmica considerando a variação da amplitude térmica entre duas profundidades. A amplitude térmica diminui com o aumento da profundidade.

$$D = \frac{\omega}{2} \left(\frac{z_2 - z_1}{\ln[\Delta T(z_1)/\Delta T(z_2)]} \right)^2$$

em que:

D = Difusividade térmica; ω = velocidade angular da Terra ($=2\pi/24$ radianos/hora); z_1 e z_2 = profundidades 1 e 2; $\Delta T(z_1)$ e $\Delta T(z_2)$ = Amplitude térmica em relação à média nas profundidades z_1 e z_2 , respectivamente.

Para o cálculo da difusividade térmica utilizou-se as profundidades 10 e 20 cm para todos os solos estudados.

3. Resultados

3.1. Temperatura

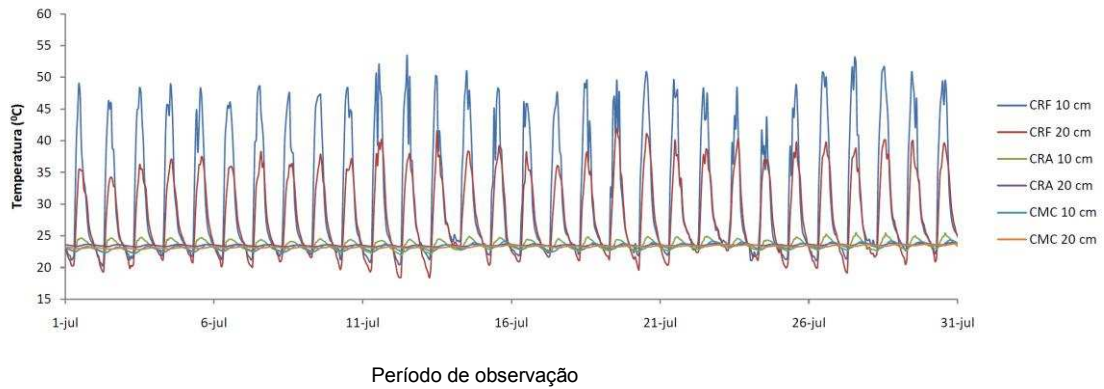
Na Tabela 2 são apresentadas as temperaturas médias mensais para as profundidades de 10 e 20 cm dos solos associados às fitofisionomias Campo rupestre ferruginoso (CRF), Campo rupestre arbustivo (CRA) Capão de mata sobre canga (CMC) e a síntese do período observado com média, máximo, mínimo e desvio padrão calculados para as leituras realizadas.

Tabela 2. Temperatura média mensal (°C) para as profundidades 10 e 20 cm para solo associado ao Campo Rupestre Ferruginoso (CRF), Campo Rupestre Arbustivo (CRA) e Capão de Mata sobre Canga (CMC).

| | CRF | | CRA | | CMC | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 10 cm | 20 cm | 10 cm | 20 cm | 10 cm | 20 cm |
| Jul. 09 | 31,07 | 28,08 | 23,55 | 23,52 | 23,25 | 23,28 |
| Ago. 09 | 31,53 | 29,23 | 23,97 | 23,83 | 23,88 | 23,73 |
| Set. 09 | 30,65 | 30,22 | 24,04 | 24,06 | 23,70 | 23,72 |
| Out. 09 | 28,58 | 28,95 | 23,75 | 23,88 | 23,52 | 23,61 |
| Nov. 09 | 28,23 | 30,18 | 23,89 | 24,02 | 23,83 | 23,91 |
| Dez. 09 | 24,57 | 24,09 | 23,19 | 23,48 | 22,89 | 23,14 |
| Jan. 10 | 26,07 | 24,56 | 23,14 | 23,33 | 22,92 | 23,02 |
| Fev. 10 | 26,20 | 24,93 | 23,45 | 23,57 | 23,28 | 23,36 |
| Média | 28,38 | 27,54 | 23,62 | 23,71 | 23,41 | 23,47 |
| Máx. | 56,77 | 57,44 | 25,83 | 24,43 | 25,27 | 24,31 |
| Min. | 18,02 | 17,42 | 20,99 | 22,62 | 20,96 | 21,96 |
| Des. Pad. | 8,012 | 7,084 | 0,671 | 0,337 | 0,629 | 0,424 |

Na Figura 2 são apresentados gráficos das temperaturas do solo observadas nas profundidades de 10 e 20 cm nos meses de julho de 2009 e janeiro de 2010.

a)



b)

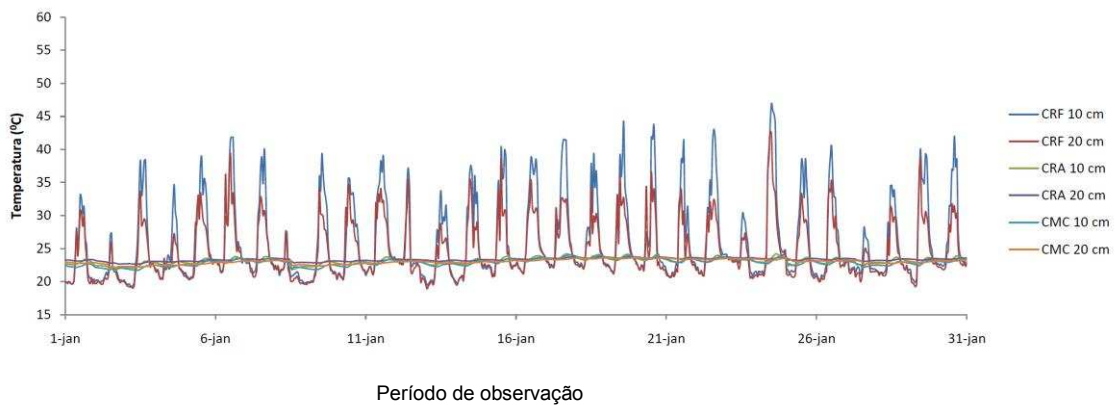


Figura 2. Gráficos de temperatura diária registrada nos meses julho de 2009 (a) e janeiro de 2010 (b) para os solos associados a Campo rupestre ferruginoso (CRF), Campo rupestre arbustivo (CRA) e Capão de mata sobre canga (CMC).

3.2. Difusividade térmica

A Figura 3 apresenta as temperaturas diárias que foram utilizadas para o cálculo da difusividade térmica dos solos associados ao Campo rupestre ferruginoso (CRF), Campo rupestre arbustivo (CRA) e Capão de mata sobre canga (CMC). Os resultados dos cálculos de difusividade térmica para os solos estudados encontram-se na Tabela 3.

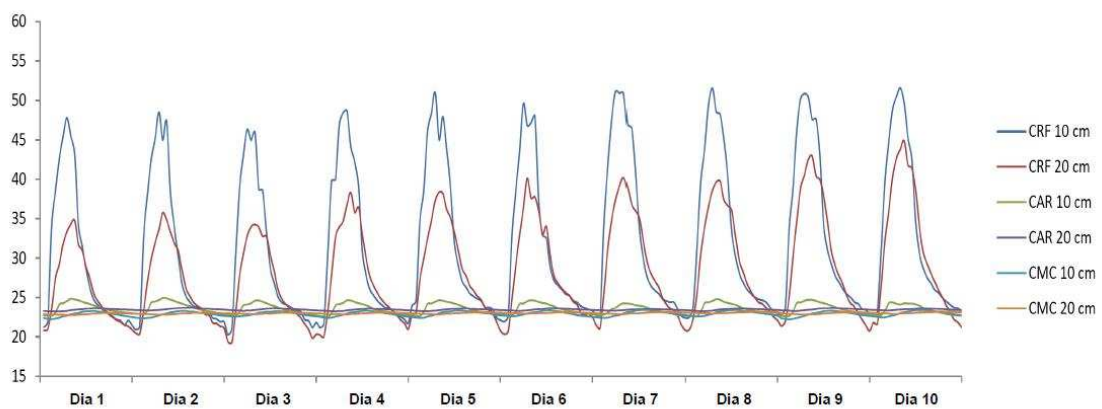


Figura 3. Gráfico das temperaturas diárias utilizadas para cálculo da difusividade térmica para solos associados aos CRF, CRA e CMC.

Tabela 3. Valores de difusividade térmica média para os solos estudados.

| | Difusividade (m^2h^{-1}) | |
|----------------------------------|------------------------------|--------|
| | Decico | Smith |
| Campo rupestre ferruginoso (CRF) | 0,1020 | 0,0059 |
| Campo rupestre arbustivo (CRA) | 0,0006 | 0,0004 |
| Capão de mata sobre canga (CMC) | 0,0009 | 0,0009 |

4. Discussão

4.1. Temperatura

A temperatura mais elevada registrada durante os oito meses de observação foi 57,44 °C em solo associado a CRF na profundidade de 20 cm. A temperatura máxima registrada para o solo sob CRA foi 25,83 °C e para o CMC 25,27 °C, ambos a 10 cm de profundidade (Tabela 1). O CRF apresenta vegetação herbáceo-arbustiva com baixa cobertura vegetal. A quantidade de radiação solar que atinge a superfície dos solos associados a essas áreas é maior do que em áreas onde a vegetação arbustiva ou florestal é mais densa

Durante o período de oito meses o solo associado ao CRF apresentou média superior a duas horas por dia de temperaturas superiores a 40 °C na profundidade de 10 cm. Nesse mesmo período aproximadamente 59 % dos dias apresentaram pelo menos uma hora de temperatura acima de 40 °C. Em 56 desses dias foi observado mais de cinco horas de temperaturas superiores a 40 °C. Durante o mês de Julho todos os dias apresentaram pelo menos 1 hora com temperatura acima de 40 °C, sendo que em 16 dias foram observadas mais de cinco horas. Em contrapartida, no mês de Janeiro em 24 dias não foram observadas temperaturas acima de 40 °C. Em Julho a média diária de horas com temperaturas acima de 40 °C foi superior a 4 horas e meia, enquanto em Janeiro essa média foi inferior a meia hora.

Os desvios padrão calculados a partir das temperaturas registradas durante o período de leitura dos sensores, indicam que a variação da temperatura é maior para os solos sob CRF nas duas profundidades (Tabela 1). Os gráficos da Figura 1 também mostram este comportamento para as profundidades de 10 e 20 cm no solo sob CRF. A amplitude térmica diária deste solo alcança 40 °C, enquanto no CRA e CMC não chega a 5°C.

Considerando os valores de desvio padrão como indicativos, observa-se que todos os solos apresentaram maior amplitude térmica na profundidade 10 cm (Tabela 1. A variação da temperatura do solo é maior na superfície em função da sua maior exposição aos fatores meteorológicos. A cobertura vegetal além de promover atenuação desses

fatores, contribui através do aporte de matéria orgânica para a diminuição das variações térmicas e hídricas do solo (Voos e Sidiras, 1985).

O CRF desenvolve-se sobre solo que apresenta restrições ao estabelecimento de plantas. Dentre elas, pode-se citar o déficit hídrico, as altas temperaturas e sua amplitude diária. As plantas que conseguem se estabelecer nessas áreas apresentam adaptações morfo-anatômicas e fisiológicas e são extremamente competitivas nesses ambientes. A utilização de *topsoil* é uma prática comum em programas de restauração de áreas degradadas e consiste na remoção do solo superficial de área que vai sofrer intervenção ambiental para deposição em área a ser restaurada. A remoção e deposição do *topsoil* das áreas de CRF pode alterar suas características físicas e com isso favorecer o estabelecimento de outras espécies, incluindo espécies invasoras, alterando a composição florística e a estrutura das comunidades naturais. As comunidades estabelecidas alteram por sua vez, a cobertura vegetal e o regime térmico e hídrico desses solos.

A Ser-International (2004) define restauração ecológica como um processo de auxilia ao restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído. Para isso, sugere que sejam definidos ecossistemas de referência que sirvam de modelo para planejamento e avaliação de projetos de restauração. Esses ambientes representam um ponto avançado de desenvolvimento na trajetória desejada da restauração. No caso de áreas em restauração de CRF o favorecimento do estabelecimento de espécies invasoras distancia o ecossistema sua trajetória histórica, direcionando-o para uma condição de estabilidade típica de ambientes recuperados e não ecologicamente restaurados.

4.2. Difusividade térmica

O processo de transferência de calor ocorre principalmente por condução e convecção. A transferência de calor por condução é uma consequência de trocas de energia nos níveis molecular e atômico e se dá devido ao contato de partículas do solo, sendo geralmente o processo mais importante de transferência de calor nos solos secos. A transferência de calor por condução depende das propriedades térmicas do solo, que são dependentes de seu conteúdo de água (Prevedello, 2010).

Para ambos os métodos utilizados para o cálculo da difusividade térmica a difusividade é maior para o solo de CRF (Tabela 2). Esses solos apresentam baixa umidade durante todo o ano sendo o contato entre as partículas e sua composição predominantemente composta por óxidos de ferro responsáveis por sua elevada difusividade térmica.

Os óxidos de ferro apresentam baixo calor específico quando comparados com as frações orgânica, água e o ar do solo. Os solos associados aos CRA e CMC também apresentam óxidos de ferro predominando em sua composição, porém são mais profundos

e apresentam maior capacidade de armazenar água. O aumento do conteúdo de água nesses solos favorece sua condutividade térmica, uma vez que os espaços porosos entre as partículas fica preenchido de água que é melhor condutor que o ar. Contudo, a água apresenta elevado calor específico, que em determinado momento modifica o calor específico do solo. O conteúdo de água do solo, associado a sua maior porosidade e teor de matéria orgânica, aumenta a capacidade desses solos de armazenar calor diminuindo sua difusividade térmica.

Na Figura 3 observa-se que a amplitude térmica diária em solos de CRF é maior que em solos associados à CRA e CMC. O maior aquecimento das áreas de campo rupestre sobre canga está relacionado à elevada incidência de radiação solar causada pela baixa cobertura vegetal dos indivíduos herbáceos que predominam nessa fitofisionomia. Já o resfriamento dessas áreas deve-se a baixo calor específico do substrato de canga ocasionado provavelmente pela predominância de óxidos de ferro na fração mineral do solo.

A fórmula do cálculo da difusividade proposta por Smith (1942) considera a amplitude da temperatura em relação à média nas profundidades de 10 e 20 cm. Nota-se que essa amplitude apresenta valores diferentes para a amplitude das temperaturas máxima e mínima em relação à média para uma mesma profundidade (A e B, Figura 5). O resultado do cálculo da difusividade utilizando a amplitude da maior temperatura em relação à média apresentou valor de $0,0059 \text{ m}^2 \text{ h}^{-1}$, enquanto o cálculo utilizando a amplitude da menor temperatura em relação a média resultou em valor quatro vezes maior ($0,0244 \text{ m}^2 \text{ h}^{-1}$) para a difusividade térmica. Para os solos de CRA e CMC a variação das amplitudes é menor (Figura 4) e os valores de difusividade calculados pela fórmula de Smith (1942) utilizando as duas amplitudes não apresentaram diferença.

O processo de condução de calor depende das propriedades térmicas do solo, que por sua vez são dependentes do conteúdo de água. A homogeneidade da proporção das frações minerais e orgânicas no perfil do solo faz com que o conteúdo de água seja uniforme no perfil, o que diminui a variação das amplitudes máxima e mínima em relação a média em uma mesma profundidade. Os resultados de difusividade calculados utilizando esses dados para CRF sugerem que esse solo seja menos homogêneo em relação a distribuição e proporção de suas frações minerais e orgânicas.

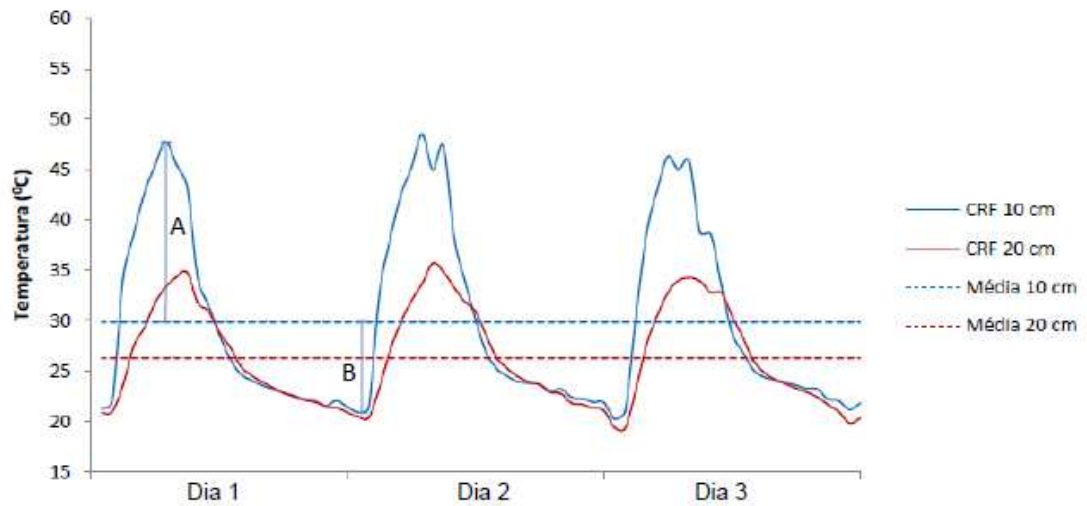


Figura 5. Registros de temperatura de três dos dez dias utilizados para realizar o cálculo de difusividade térmica do solo de CRF. As letras A e B correspondem respectivamente à amplitude da temperatura máxima e mínima em relação a média.

5. Conclusões

- Para os solos avaliados, a estrutura é fator determinante no seu comportamento térmico e hídrico, estabelecendo relação de sinergia com a vegetação instalada.
- Os valores obtidos de difusividade térmica para solo associado ao CRF são maiores que os solos associados ao CRA e CMC para ambos os métodos utilizados para cálculo.
- O método proposto por Decico (1974) para o cálculo da difusividade térmica é mais indicado para o solo associado ao CRF.

6. Referências Bibliográficas

- AB'SABER, A. N. Geomorfologia da região. **Carajás: Desafio Político, Ecologia e Desenvolvimento, Capítulo**, v. 5, p. 88-124, 1986.
- BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M. R. Modelos de ajuste para médias de temperatura do solo, em diferentes profundidades. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 1, n. 1, p. 95-99, 1993.
- BRASIL. **Projeto Radam. Folha SA-22-Belém; Geologia. geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra.** Rio de Janeiro/DNPM 1974.
- CORRÊA, G. R. **Pedogênese em platôs de canga ferrífera e basaltos na Serra dos Carajás-PA.** 2011. 206 p. (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- DECICO, A. Equações para o cálculo da condutividade térmica de alguns solos em função da densidade e umidade. **Ciência e Cultura**, v. 26, n. 12, p. 1178-1182, 1974.
- DOCEGEO. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: (Ed.). **Anais...** Belém, PA: Congresso Brasileiro de Geologia, v.35, 1988. p.11-54.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Produção de Informação, 2006.
- LABOURIAU, L. G. A germinação das sementes, Luiz Gouvea Labouriau. **Serie de biologia. Monografia. 24.**, 1983.
- NORDERMANN, L. M. M.; LUCHT, L. A. M. Estudos de temperatura em solos tropicais. In: PARADA, N. D. J. (Ed.). **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 1982. p.293-306.
- NUNES, J. **Florística, estrutura e relações solo-vegetação em gradient fitofisionômico sobre canga, na Serra Sul, FLONA de Carajás-Pará.** 2009. Universidade Federal de Viçosa
- PREVEDELLO, C. L. Energia térmica do solo. In: VAN LIER, Q. D. J. (Ed.). **Física do solo.** Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p.177-211.
- RIBEIRO, A. S. S. **Caracterização química, física, mineralógica e micromorfológica dos solos na Serra Sul, Floresta Nacional de Carajás, Pará.** 2005. 108 p. (Mestrado). Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

RIBEIRO, A. S. S. **Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de solos da Serra Sul, Florestal Nacional de Carajás, PA.** 2010. 108 p. (Mestrado). Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; MENDONÇA, B. A. F.; SABOYA, A. S.; FERRERIA JUNIOR, W. G.; NUNES, J. A.; CÔRREA, G. R. **Geodiversidade dos ambientes de canga na região de Carajás - Pará.** Relatório Técnico Vale do Rio Doce, p.75 p. 2008

SER-INTERNATIONAL. Princípios da SER International sobre a restauração ecológica., Tucson, 2004. Disponível em: < <http://www.ser.org/docs/default-document-library/ser-primer-portuguese.pdf> >.

SMITH, W. O. The thermal conductivity of dry soil. **Soil Science**, v. 53, n. 6, p. 435-460, 1942. ISSN 0038-075X.

VOOS, M.;SIDIRAS, N. Nodulação da soja em plantio direto em comparação com plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, p. 775-778, 1985.

6. Considerações finais

A proteção da biodiversidade deve contar com estratégias de preservação “in situ” e “ex-situ”. No presente trabalho avaliou-se a ferramenta de mapeamento de fitofisionomias associadas a formações ferríferas obtendo-se importantes resultados na delimitação de suas áreas de ocorrência e na determinação de remanescentes com potencial para preservação e reabilitação. O mapeamento realizado mostrou-se uma ferramenta essencial dos programas de proteção da biodiversidade, capaz de atender a abrangência compatível com as extensões territoriais das fitofisionomias avaliadas.

Além das lacunas de conhecimento sobre as questões relacionadas ao manejo do topsoil e ao resgate e reintrodução da flora, existe carência de estudos sobre a biologia reprodutiva das plantas e de relações ecológicas entre as fitofisionomias que compõem o Complexo rupestre sobre canga.

A avaliação do comportamento hídrico e térmico dos solos associados as formações ferríferas representou importante contribuição para o entendimento das condições de restrição ao estabelecimento das plantas e conseqüentemente, da estrutura e florística das comunidades vegetais em um programa de restauração ecológica. Na prática estes resultados devem se traduzir em estratégias específicas para manejo do topsoil e preparo do terreno, diferentes daquelas convencionalmente utilizadas em programas de reabilitação ambiental. É necessário o estabelecimento de protocolos de preparo de solo de forma a garantir condições ambientais específicas para as diferentes fitofisionomias que se pretenda restaurar.

A avaliação da regeneração natural e da sobrevivência de plantas provenientes do resgate na área de reabilitação experimental instalada na mina de Capão Xavier, permitiu o acompanhamento da dinâmica destes processos, em busca de contribuições para a sua viabilidade operacional. Com relação à sobrevivência de plantas provenientes de resgate no complexo rupestre sobre canga, os dados obtidos até agora, mostram taxas relativamente baixas, seguindo a mesma tendência observada em outros trabalhos realizados (Mendonça, 2013; Santos, 2010). Fica evidente a necessidade de estudos de técnicas de manejo no viveiro e em campo, além de investimento no conhecimento da biologia reprodutiva das plantas. Estas iniciativas possibilitariam evolução nas operações de resgate, ampliando os critérios de seleção, atualmente centrados em aspectos operacionais e nas informações disponíveis sobre a raridade e vulnerabilidade das espécies.

A utilização de topsoil nos programas de restauração de campos rupestres sobre canga é imprescindível para seu sucesso. Os experimentos realizados indicaram sua importância devido a presença de propágulos de espécies nativas com resultados positivos na regeneração natural. A realização de levantamentos florísticos, fitossociológicos e da

microbiologia das áreas de empréstimo de topsoil é fundamental para que os resultados dos programas sejam avaliados.

ANEXO

Fotografias das classes de cobertura vegetal identificadas para o mapeamento



Foto 1. Campo rupestre ferruginoso.



Foto 2. Campo rupestre quartzítico.



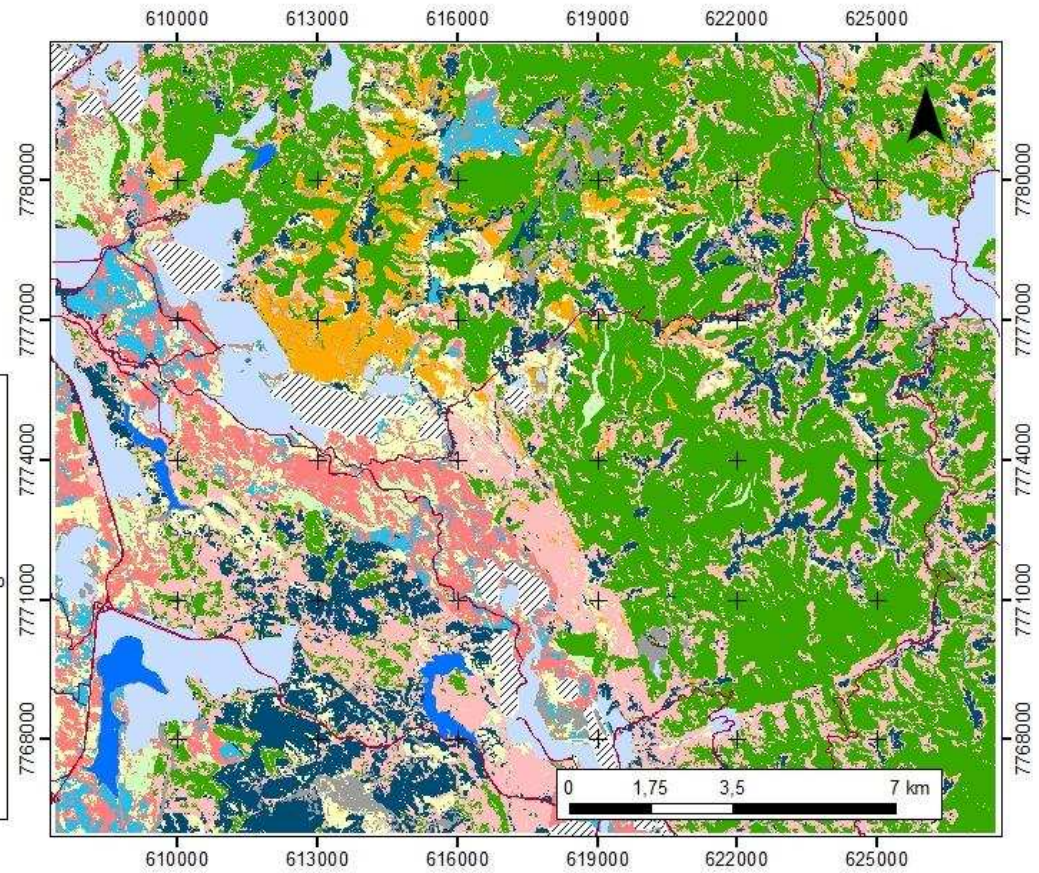
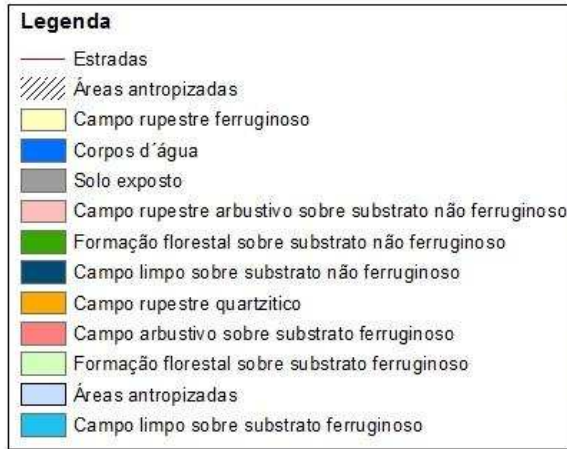
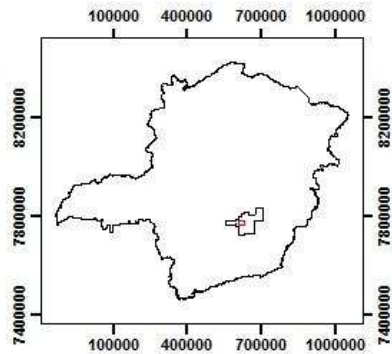
Foto 3. Campo arbustivo



Foto 4. Campo limpo



Foto 5. Formações florestais.



Base de dados: Vale
 Sistema de Projeção:
 Universal Transversa de Mercator
 Datum SAD 69 Fuso 23 S