

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal

Luana Cristielle Araújo

**RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DE CAMPO RUPESTRE FERRUGINOSO EM
PILHA DE ESTÉRIL**

**Diamantina
2015**

Luana Cristielle Araújo

**RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DE CAMPO RUPESTRE FERRUGINOSO EM
PILHA DE ESTÉRIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciência Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Israel Marinho Pereira
Coorientador: Prof. Dr. Evandro Luiz Mendonça Machado

**Diamantina
2015**

Ficha Catalográfica – Serviço de Bibliotecas/UFVJM
Bibliotecário Anderson César de Oliveira Silva, CRB6 – 2618.

A663r	Araujo, Luana Cristielle Restauração ecológica de campo rupestre ferruginoso em pilha de estéril / Luana Cristielle Araujo. – Diamantina, 2016. 82 p. : il.
	Orientador: Israel Marinho Pereira Coorientador: Evandro Luiz Mendonça Machado
	Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.
	1. Mineração. 2. Camada superficial do solo. 3. Campo rupestre ferruginoso. 4. Restauração ecológica. I. Título II. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.
	CDD 622.34

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DE CAMPO RUPESTRE FERRUGINOSO EM
PILHA DE ESTÉRIL**

LUANA CRISTIELLE ARAÚJO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, nível de Mestrado, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciência Florestal.

APROVADO EM 20/10/2015

Prof. Dr. João Carlos Costa Guimarães – UNIFEI

Prof. Dr. Evandro Luiz Mendonça Machado – UFVJM

Prof. Dr. Marcio Leles Romarco de Oliveira – UFVJM

Prof. Dr. Israel Marinho Pereira
Presidente

**DIAMANTINA
2015**

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me concedeu a vida, pelo seu amor incondicional, que me proporcionou paz, força e coragem para lutar por todos os meus objetivos. Sempre estive ao meu lado, guiando-me e protegendo-me nessa caminhada e por ter colocado pessoas tão especiais no meu caminho.

Aos meus pais, Luiz e Maria José, que sempre me apoiaram e me incentivaram com todo amor e carinho. Aos meus irmãos Danielle, Thaís e Thiago pela amizade e companheirismo. Ao meu irmão Luiz e minha cunhada Cíntia, pela acolhida em sua casa e por todo carinho.

A Felipe, meu noivo, que permaneceu ao meu lado em todos os momentos com sua infindável paciência e seu amor.

A Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) e todos os funcionários desta instituição. Aos professores do Departamento de Engenharia Florestal da UFMG que contribuíram para a minha formação profissional.

Ao professor Israel, pela orientação, pelo empenho e dedicação que foram inestimáveis para a realização dessa pesquisa, além de todas as oportunidades concedidas e pela confiança nesses cinco anos de trabalho.

Aos professores Márcio, Evandro e João, membros da banca examinadora, pelas correções e sugestões.

Aos professores, Márcio e Evandro pela disposição em ajudar na solução de dúvidas e pelas sugestões desde o planejamento até a conclusão desta pesquisa.

A UFMG e a Anglo American pelo auxílio financeiro.

Aos meus colegas de mestrado pela agradável convivência, em especial ao Ângelo, pelo companheirismo e amizade e por toda ajuda nos trabalhos de campo.

A todos os integrantes do Núcleo de Estudos em Recuperação de Áreas Degradadas (NERAD), por todos os conhecimentos compartilhados e pela ajuda de muitos na coleta de dados, especialmente a Paula, Gleica, Francielle, Michele, Gleyce e Breno. Ao Leandro pela ajuda na implantação dos experimentos. Ao André e Thiago pela ajuda na identificação das plantas. Ao Xavier pela ajuda no campo, elaboração de croquis e troca de experiências.

A toda equipe do meio ambiente da Anglo American pelo apoio na logística e colaboração nas atividades do campo, em especial ao Rafael, Raul, Juliano e José Araújo.

A todos que torceram por mim, o meu muito obrigada!

RESUMO

ARAÚJO, Luana Cristielle. **Restauração ecológica de campo rupestre ferruginoso em pilha de estéril**: UFVJM, 2015. 80p. (Dissertação - Mestrado em Ciência Florestal).

O objetivo deste trabalho foi gerar conhecimento sobre a aplicação de diferentes técnicas na restauração de ambientes degradados pela mineração de ferro. A dissertação foi estruturada em três capítulos, sendo o primeiro uma revisão de literatura, com intuito de retratar os temas abordados na dissertação. No segundo, avaliou-se o espaçamento de plantio para *Vellozia ramosissima* e *Pseudobombax campestre* no modelo de plantio em Leque, visando gerar conhecimento sobre o manejo dessas espécies resgatadas na reintrodução a ambientes degradados. Para tal depositou-se sobre uma pilha de estéril de canga ferruginosa uma camada de *topsoil* associado à canga ferruginosa, onde foi instalado o experimento em delineamento sistemático tipo “Leque”, conforme o modelo (IA) proposto por Nelder (1962), em que se avaliou oito espaçamentos de plantio, variando de 2 m²/planta a 9,3 m²/planta. As variáveis analisadas foram o incremento em altura e diâmetro de *P. campestre*, além da sobrevivência de *V. ramosissima* e *P. campestre* aos quatro, oito e doze meses após o replantio. Para avaliar os melhores tratamentos foram realizadas análises de variância (ANOVA) a 5% de significância. Para a sobrevivência realizou-se o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis a 5% de significância. As duas espécies estudadas apresentaram nos períodos avaliados sobrevivência acima de 80%. O incremento em altura e diâmetro de *P. campestre* foi crescente ao longo do período avaliado, apresentando uma média geral 34,3 cm e 16,6 mm, respectivamente, durante os doze meses após o replantio. Ressalta-se que os espaçamentos de plantio testados para as espécies deste estudo não apresentaram diferenças significativas para todas as variáveis analisadas. O terceiro capítulo teve como objetivo avaliar o potencial do uso da camada superficial de solo “*topsoil*” associado à canga ferruginosa, como alternativa na recomposição da cobertura vegetal de uma pilha de estéril de canga ferruginosa. A comunidade regenerante foi amostrada aos 10 e 18 meses, após a deposição do *topsoil*. Assim, determinou-se a densidade de plantas, composição e diversidade florística, além de avaliar a dinâmica de populações e cobertura do solo. A cobertura vegetal proveniente do *topsoil* ao final do período avaliado apresentou um total de 19.485 indivíduos pertencentes a 26 famílias com 82 espécies e seis morfoespécies. As famílias com maior número de espécies foram Asteraceae (16), seguidas de Fabaceae (11) e Poaceae (8). A cobertura média do solo na área experimental foi de 58%, após 18 meses. A utilização do *topsoil* mostrou-se como uma técnica promissora e de extrema importância na indução da restauração da pilha de estéril de canga ferruginosa, uma vez que proporcionou a regeneração natural, recomposição da vegetação com espécies autóctones, crescimento satisfatório dos indivíduos e rápida cobertura do solo ao longo do período avaliado.

Palavras chave: Mineração. Camada superficial do solo. Campo rupestre ferruginoso. Restauração ecológica.

ABSTRACT

ARAÚJO, Luana Cristielle. **Ecological restoration of ferruginous rupestrian fields with waste pile**: UFVJM, 2015. 82p. (Thesis - Master in Forest Science)

This work aimed at generating knowledge on the application of different techniques in the restoration of degraded environments due the iron mining. The master's thesis was structured into three chapters, where the first is a literature review which portrays the issues addressed in the thesis. In the second chapter we evaluated the planting spacing for *Vellozia ramosissima* and *Pseudobombax campestre* in fan-shaped planting model, aiming at generating knowledge on the management of the two species when reintroduced in degraded environments. For this purpose we deposited on a pile of sterile ferruginous yoke one topsoil layer associated with the ferruginous yoke, where we conducted the experiment in a fan-shaped systematic design, according to the model (IA) proposed by Nelder (1962), in which were evaluated eight planting spacings ranging from 2 m²/plant to 9.3 m²/plant. We analyzed as variables the increase in height and diameter of *P. campestre* and the survival of *V. ramosissima* and *P. campestre* in the fourth, eighth, and twelfth months after replanting. In order to evaluate the best treatments we performed variance analysis (ANOVA) at 5% significance level. For survival we used the nonparametric Kruskal-Wallis test at 5% significance level. Both the studied species showed survival above 80% in the evaluated periods. The increment in height and diameter of *P. campestre* was increasing over the studied period, presenting an overall average of 34.3 cm and 16.6 mm, respectively, during the twelve months after replanting. We point out that the plant spacings for the species tested in this study presented no significant differences for all variables. The third chapter aimed at evaluating the potential use of the surface layer of "topsoil" associated with ferruginous yoke, as an alternative in the vegetation cover restoration of a waste pile of ferruginous yoke. The regenerating community was sampled in the 10th and 18th months after the deposit of topsoil. Therefore, we determined the plant density, the composition and the floristic diversity, and we also evaluated the dynamics of populations and soil coverage. The vegetation provided by the topsoil by the end of the studied period showed a total of 19,485 individuals which belong to 26 families with 82 species and six morphospecies. The families with the highest number of species were Asteraceae (16), followed by Fabaceae (11), and Poaceae (8). The average coverage of the soil in the experimental area was 58% after 18 months. The use of topsoil was shown as a promising and extremely important technique in inducing the restoration of the waste pile of ferruginous yoke, once it provided natural regeneration, vegetation restoration with native species, satisfactory growth of individuals, and quick soil coverage over the studied period.

Keywords: Mining. Topsoil surface layer. Ferruginous rupestrian field. Ecological restoration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

Figura 1. Valores do raio inicial (r_0), raios dos tratamentos (r_1 a r_n), ângulo entre raios (θ) e a área associada a cada planta (A_1 a A_n) no delineamento sistemático tipo “leque” (STAPE, 1995)..... 19

CAPÍTULO 2

Figura 1. Área experimental sobre pilha de estéril de minério de ferro em Conceição do Mato Dentro, MG (Word View - Anglo American, 2013). 32

Figura 2. Croqui do modelo de plantio em Leque utilizado no experimento em uma pilha de estéril de minério de ferro em Conceição do Mato Dentro, MG..... 33

Figura 3. Ajuste dos semivariogramas teóricos aos valores do semivariograma empírico e envelope simulado para o incremento em altura (A, B e C) e em diâmetro (D, E e F) de *Pseudobombax campestre* nos três períodos avaliados. Parâmetros ajustados por máxima verossimilhança considerando-se as estruturas de covariância exponencial, Matérn com $K=1$ e Matérn com $K=2$ 38

Figura 4. Valores médios de incremento (Inc.) em altura (A) e em diâmetro (B) dos indivíduos de *Pseudobombax campestre* aos quatro, oito e doze meses após o replantio em uma pilha de estéril de minério de ferro em Conceição do Mato Dentro, MG..... 40

Figura 5. Valores médios de sobrevivência dos indivíduos de *Vellozia ramosissima* aos seis e doze meses (A) e de *Pseudobombax campestre* aos quatro, oito e doze meses (B), após o replantio em uma pilha de estéril de minério de ferro em Conceição do Mato Dentro, MG. ... 42

CAPÍTULO 3

Figura 1. Área experimental sobre uma pilha de estéril de minério de ferro em Conceição do Mato Dentro, MG (Word View - Anglo American, 2013)..... 53

Figura 2. Croqui das parcelas do experimento de *topsoil* em uma pilha de estéril de minério de ferro em Conceição do Mato Dentro, MG..... 56

Figura 3. Síndromes de dispersão nos diferentes hábitos das espécies regenerantes do *topsoil* registradas na pilha de estéril de canga ferruginosa no município de Conceição do Mato Dentro, MG.....58

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Valores da distância radial, área por planta e densidade de plantas de oito tratamentos (espaçamentos) do modelo de plantio em Leque utilizado no experimento em uma pilha de estéril de minério de ferro em Conceição do Mato Dentro, MG 34

Tabela 2. Características químicas e físicas de amostras de substrato de canga ferruginosa nas camadas de 0-10 e 10-20 cm nas áreas dos experimentos de plantio de *V. ramosissima* e *P. campestre* em uma pilha de estéril de minério de ferro em Conceição do Mato Dentro, MG .35

Tabela 3. Resultados das estimativas dos parâmetros, variância (σ^2), efeito pepita (τ^2), alcance (ϕ^2), logaritmo da função de verossimilhança (Log), número de parâmetros do modelo considerado (Npars) e critério de Akaike (AIC) para as variáveis incremento (Inc.) em altura e em diâmetro de *Pseudobombax campestre* para todos os períodos avaliados pelo método de estimação de parâmetros do modelo geostatístico utilizando diferentes modelos de função de correlação..... 38

Tabela 4. Resumo da análise de variância do incremento em altura e em diâmetro das mudas de *P. campestre* em todos os períodos avaliados..... 39

Tabela 5. Resultados do teste não-paramétrico da sobrevivência das mudas de *Velozia ramosissima* aos 6 e 12 meses e *Pseudobombax campestre* aos 12 meses42

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Características químicas e físicas de amostras de substrato de canga ferruginosa nas camadas de 0-10 e 10-20 cm na área do experimento de *topsoil* em uma pilha de estéril de minério de ferro em Conceição do Mato Dentro, MG 55

Tabela 2. Relação das espécies regenerantes do *topsoil* registradas na pilha de estéril de canga ferruginosa no município de Conceição do Mato Dentro, MG 60

Tabela 3. Índice de riqueza de Margalef (Mg), Número de espécies (S) e Número de indivíduos (N) presentes aos 10 e 18 meses 66

Tabela 4. Dinâmica de populações de seis espécies arbustivas e arbóreas germinadas do topsoil associado à canga ferruginosa em uma pilha de estéril de minério de ferro em Conceição do Mato Dentro, MG, expressa em número de indivíduos e área basal67

SUMÁRIO

RESUMO	
ABSTRACT	
INTRODUÇÃO GERAL	10
REFERÊNCIAS	11
CAPÍTULO 1: REVISÃO DE LITERATURA	14
1 OS CAMPOS RUPESTRES	14
2 IMPACTOS DA MINERAÇÃO	15
3 RESTAURAÇÃO DE CAMPO RUPESTRE E DESAFIOS ENFRENTADOS	16
4 USO DE <i>TOPSOIL</i>	17
5 MODELO DE PLANTIO EM LEQUE	18
REFERÊNCIAS	20
CAPÍTULO 2: ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO UTILIZANDO O MODELO EM LEQUE PARA DUAS ESPÉCIES DE CAMPO RUPESTRE FERRUGINOSO.....	28
RESUMO	28
ABSTRACT	29
1 INTRODUÇÃO	30
2 MATERIAIS E MÉTODOS	31
2.1 Localização e caracterização da área do experimento	31
2.2 Instalação do experimento	32
2.3 Caracterização do substrato	35
2.4 Variáveis mensuradas	36
2.5 Análises estatísticas	36
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
3.1 Análise da dependência espacial.....	37
3.2 Incremento em altura e em diâmetro de <i>Pseudobombax campestre</i>	39
3.1 Sobrevivência de <i>Vellozia ramosissima</i> e <i>Pseudobombax campestre</i>	41

3.4	Uso do plantio em Leque na restauração de áreas degradadas	44
4	CONCLUSÕES	44
	REFERÊNCIAS	44
	CAPÍTULO 3: REGENERAÇÃO NATURAL EM <i>TOPSOIL</i> APLICADO NA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DE UMA PILHA DE ESTÉRIL DE CANGA FERRUGINOSA.....	50
	RESUMO	50
	ABSTRACT	51
1	INTRODUÇÃO	52
2	MATERIAIS E MÉTODOS	53
2.1	Localização e caracterização da área do experimento	53
2.2	Instalação do experimento	53
2.3	Caracterização do substrato	54
2.4	Amostragem da comunidade regenerante	55
2.5	Comunidade arbustiva-arbórea	57
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
3.1	Composição florística da comunidade regenerante	57
3.2	Comunidade arbustivo-arbórea.....	66
4	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS	68
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
	APÊNDICE A- PASSOS PARA A ANÁLISE DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL NO PROGRAMA R	73
	ANEXO A- FIGURAS DOS EXPERIMENTOS	78

INTRODUÇÃO GERAL

Os campos rupestres ferruginosos, conhecidos como vegetação de canga, com distribuição em áreas restritas associadas a importantes depósitos de minério de ferro, estão entre os ecossistemas mais ameaçados de Minas Gerais (JACOBI et al., 2007; JACOBI & CARMO, 2008). Além da mineração, a alteração das áreas de ocorrência natural dos campos ferruginosos acontece principalmente pela pressão das atividades antrópicas, incluindo a coleta indiscriminada de espécies de valor paisagístico, o uso do fogo e a expansão urbana, levando à perda de habitat de espécies endêmicas, algumas delas presentes na Lista da Flora Brasileira Ameaçada de Extinção (REZENDE, 2010).

A vegetação dos campos ferruginosos é dotada de características bastante distintas e peculiares, entre as quais podem ser ressaltadas: o endemismo de parte de sua flora; a diversidade florística distribuída em fitofisionomias distintas – campestres, arbustivas e arbóreas; os mecanismos de sobrevivência de suas espécies, desenvolvidos em resposta aos ambientes com elevadas amplitudes térmicas e hídricas e o crescimento lento de muitas de suas espécies (SANTOS, 2010), abrigando espécies vegetais com potencial medicinal e ornamental, como bromélias e orquídeas e plantas tolerantes a altas concentrações de metais pesados no substrato (PORTO & SILVA, 1989; RIZZINI, 1997; TEIXEIRA & LEMOS FILHO, 1998), conhecidas como metalófilas.

A atividade da mineração provoca impacto de grande magnitude a um ambiente, pois envolve a supressão da vegetação e remoção da camada superficial do solo “*topsoil*” (PINHEIRO, 2008), de modo que altera drasticamente a paisagem e perturba totalmente o ecossistema (GARDNER, 2001). Tendo em vista a importância ecológica das formações vegetais, além da obrigatoriedade da recuperação de ambientes degradados (BRASIL, 1988), a intervenção em áreas degradadas, por meio de técnicas de manejo, pode acelerar o processo de regeneração, permitir o processo de sucessão e evitar a perda de biodiversidade (BARBOSA et al., 2005).

A restauração ecológica de ecossistemas degradados procura trabalhar dentro de uma visão de reestruturação das funções que foram perdidas no processo de degradação. Diante da necessidade de buscar melhorias no processo de restauração, órgãos ambientais passaram a exigir a viabilização de operações de resgate de flora e de uso do *topsoil* em licenciamentos de mineração (FEAM, 2001).

A restauração de áreas degradadas é uma atividade que necessita de uma abordagem sistemática, de um bom planejamento dentro de uma visão a longo prazo.

Portanto, os trabalhos de restauração dos campos ferruginosos devem ser precedidos de operações de resgate da flora e remoção do *topsoil*, buscando-se estabelecer com a reintrodução desses materiais maior semelhança possível com as áreas naturais (REZENDE, 2010). O sucesso da recuperação depende de condições específicas do local, assim como da implementação das melhores técnicas para a reconstrução do solo (AMARAL, 2013) e recomposição da vegetação.

No entanto, ainda se observa uma grande dificuldade na implantação da técnica de plantio de mudas de espécies de campos rupestre, uma vez que muitos projetos não têm apresentado bons resultados. Dentre as práticas que merecem esforços nos estudos na restauração de áreas degradadas, destacam-se a escolha das espécies que serão utilizadas e os modelos de plantio (ARAÚJO et al., 2014), possibilitando maior sobrevivência e desenvolvimento das mesmas ao serem introduzidas em ambientes degradados

Nesse contexto, este trabalho busca testar novos métodos que garantam às técnicas de restauração maior diversidade e, principalmente, reestruturação de funções ecológicas de ecossistemas degradados pela mineração de ferro. Neste intuito, este trabalho foi estruturado em três capítulos da seguinte forma:

O primeiro apresenta uma revisão de literatura com objetivo de retratar os temas abordados na dissertação.

O segundo teve o objetivo de avaliar o espaçamento de plantio para duas espécies de campo rupestre ferruginoso no modelo de plantio Leque, visando gerar conhecimento sobre o manejo dessas espécies resgatadas na reintrodução a ambientes degradados.

O terceiro teve como objetivo avaliar o potencial do uso da camada superficial de solo “*topsoil*” associado à canga ferruginosa como alternativa na recomposição da cobertura vegetal de uma pilha de estéril de canga ferruginosa.

REFERÊNCIAS

AMARAL, L. A. **Estratégia de utilização de *topsoil* na restauração ambiental**. 2013. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2013.

ARAÚJO, L. C.; PEREIRA, I. M.; CARVALHO, T. F.; MARQUES, I. C.; SILVA, N. F. Sobrevivência de cinco espécies do cerrado aos 12 meses após o plantio em uma cascalheira

no Parque Estadual do Biribiri em Diamantina, MG. **MG. Biota**, Belo Horizonte, v.7, n.3, out./dez., 2014.

BARBOSA, L. M.; BARBOSA, K. C.; NEUENHAUS, E. C. M.; BARBOSA, J. M.; POTOMATI, A. Estabelecimento de parâmetros de avaliação e monitoramento para reflorestamentos induzidos visando o licenciamento ambiental. In: **Anais do Simpósio nacional e latino-americano sobre recuperação de áreas degradadas**, 4., 2005, Curitiba. Curitiba: Sobrade, 2005. P.221-233.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal.

FEAM, **Certificado de Licenciamento Ambiental** – Licença de instalação nº 042 – Unidade de Comunicação/ Classificação Fábrica Nova. 2001.

GARDNER, J. Rehabilitación de minas para El mejor uso del terreno: La minería de bauxita em el bosque de jarrah de Australia Occidental. **Unasyuva**, Roma, v.52, n.207, p. 3-8, 2001.

JACOBI, C. M.; CARMO, F. F.; REGINA C. 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.

JACOBI, C. M.; CARMO, F. F. The Contribution of Ironstone Outcrops to Plant Diversity in the Iron Quadrangle, a Threatened Brazilian Landscape. **AMBIO**, v.37, n.4, p.324-326, 2008.

PINHEIRO, C. Q. **Avaliação da recuperação da cascalheira do Aeroporto Internacional de Brasília Juscelino Kubitschek: aspectos edáficos, florísticos e ecológicos**. 2008. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília-DF.

PORTO, M. L.; SILVA, M. F. F. Tipos de vegetação metalófila em áreas da Serra dos Carajás e de Minas Gerais, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.3, n.1, p.13-21, 1989.

REZENDE, L. A. L. **Reabilitação de campos ferruginosos degradados pela atividade minerária no Quadrilátero Ferrífero**. 2010. 63p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**. 2.ed. São Paulo: HUCITEC/Universidade de São Paulo, 1997. 374p.

SANTOS, L. M. **Restauração de campos ferruginosos mediante resgate de flora e uso de topsoil no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais.** 2010. 128p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

TEIXEIRA, W. A.; LEMOS FILHO, J. P. Metais pesados em folhas de espécies lenhosas colonizadoras de uma área de mineração de ferro em Itabirito, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.22, n.3, p.381-387, 1998.

CAPÍTULO 1: REVISÃO DE LITERATURA

1 OS CAMPOS RUPESTRES

Em altitudes acima de 900 m, a fitofisionomia predominante na Cadeia do Espinhaço é o campo rupestre, caracterizado por um estrato herbáceo entremeado por pequenos arbustos e subarbustos, distribuídos em mosaicos de micro habitats com substratos que podem variar na fertilidade, capacidade de retenção de água, profundidade do solo e granulometria, além das diferenças no relevo e microclima (GIULIETTI et al., 1997).

A flora é bastante peculiar e estima-se a ocorrência de mais de 4.000 espécies, sendo considerado o centro de diversidade de vários grupos de plantas, abrigando um grande número de espécies endêmicas (GIULIETTI & PIRANI, 1988; GIULIETTI et al., 1997; RAPINI et al., 2008).

No Brasil, os campos rupestres da Serra do Espinhaço são considerados centros de diversidade de famílias, como Eriocaulaceae, Xyridaceae e Velloziaceae, com aproximadamente 90% das suas espécies endêmicas dessa região (GIULIETTI et al., 2005), e de vários gêneros de Melastomataceae, Ericaceae e Asteraceae (PIRANI et al., 2003).

Muitas espécies apresentam adaptações morfológicas e/ou fisiológicas a ambientes xerofíticos, tais como folhas coriáceas ou suculentas, modificações de órgãos em estruturas de reserva, presença de pilosidade densa nas folhas e ramos e até anatomia Kranz, presente em espécies com metabolismo CAM (LARCHER 1995). Em função dos altos teores de metais pesados no solo, as plantas podem apresentar ecótipos com nanismo ou gigantismo (PORTO & SILVA, 1989) e alta capacidade de reter metais pesados em seus tecidos (TEIXEIRA & LEMOS-FILHO, 1998; VINCENT, 2004).

Os solos assumem grande importância na relação dessas plantas com o ambiente. É marcante na região a influência das condições litológicas e estruturais sobre a evolução do relevo e também sobre a distribuição e características dos solos (SANTOS, 2010). Estes, sobre as formações ferríferas, em geral são rasos, ácidos, de baixa fertilidade, com baixa capacidade de retenção de água e com alta concentração de ferro oxidado (SCHAEFER et al., 2008; CARVALHO FILHO, 2008). De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), enquadram-se nas classes dos Cambissolos, Neossolos Litólicos e Plintossolos Pétricos.

No Brasil, a maioria dos geossistemas ferruginosos ocorre nos Estados de Minas Gerais, Pará, Bahia e Mato Grosso do Sul. Dentre as ocorrências em Minas Gerais, na borda leste da Serra do Espinhaço há ocorrências desses ambientes próximo às cidades de Serro e Conceição do Mato Dentro. Os depósitos desta região têm baixo teor em ferro (30-35% de Fe total), mas baixos teores de contaminantes. (ROSIÈRE, 2015).

Os campos rupestres sobre canga se dividem basicamente em dois tipos, conforme o grau de fragmentação da rocha: campo de canga couraçada e campo de canga nodular. O primeiro desenvolve-se quando a rocha forma um lajedo ou uma couraça, o segundo quando a rocha se mostra fragmentada, permitindo um maior acúmulo de solo e maior permeabilidade (RIZZINI, 1979). As couraças são compostas por minerais derivados das formações ferríferas bandadas, hematita compacta e fragmentos de itabirito cimentados por limonita (óxido de ferro hidratado) precipitados na superfície, sendo que o teor de ferro da canga varia de 40% a 68% (DORR, 1964; POMERENE, 1964). Essas couraças ferruginosas compreendem as formações superficiais resultantes de processos ligados à evolução da paisagem e do relevo, ou seja, diretamente ligadas ao intemperismo e pedogênese policíclicos (SCHAEFER et al., 2008).

2 IMPACTOS DA MINERAÇÃO

A área territorial diretamente alterada por indústrias de mineração ainda é relativamente baixa em termos de inventário global de degradação, mas pode representar quantidades consideráveis na base de cada país (COOKE & JOHNSON, 2002). Sendo o avanço da ciência e da tecnologia, o desenvolvimento econômico, a expansão industrial, a aceleração da urbanização e o crescimento da população constituem os fatores promotores da crescente taxa de consumo de recursos minerais (SHEORAN et al., 2010).

A mineração, embora seja uma atividade industrial necessária para a sociedade, produz impactos ambientais significativos em todas as suas fases: prospecção e pesquisa, extração, beneficiamento, refino e fechamento de minas (DIAS, 1998).

O processo de degradação pela mineração promove no meio físico uma degradação que pode ser de escalas pontuais até escalas regionais. Na maioria dos casos o impacto da exploração mineral é de grande magnitude.

Na identificação dos impactos ambientais deve-se levar em conta que quase todas as minerações baseiam-se em trabalhos que envolvem a movimentação de terras e escavações. Decorrentes destas atividades estão o desmatamento, a alteração da superfície

topográfica da paisagem, a perda ou degradação das camadas superficiais do solo, a instabilização de encostas e terrenos em geral, as alterações dos corpos d'água e de níveis do lençol freático, a erosão e o assoreamento (KOPEZINSK, 2000). Sendo assim, a exploração de minerais altera drasticamente a paisagem e perturba totalmente o ecossistema (GARDNER, 2001).

No solo, os possíveis impactos da mineração podem verificar-se na forma de alterações físicas (inversão das camadas do solo, compactação provocada pelo trânsito de máquinas), químicas (perda de matéria orgânica e de nutrientes, exposição de materiais pouco intemperizados), e biológicas (exposição de camadas com menor teor de carbono orgânico e menor atividade biológica). Tais alterações podem apresentar intensidade variável dependendo das características de geologia, relevo e solos locais (DIAS, 2003).

As formações vegetais das áreas mineradas são suprimidas ocasionando a perda da biodiversidade local, causando a extinção de espécies ambientes endêmicas e raras, porém algumas medidas devem ser tomadas visando o salvamento das espécies.

3 RESTAURAÇÃO DE CAMPO RUPESTRE E DESAFIOS ENFRENTADOS

Os campos rupestres sobre canga constituem um ambiente caracteristicamente adverso ao estabelecimento de plantas (VINCENT et al., 2002). Alguns fatores limitantes, como alta incidência solar, pouca matéria orgânica disponível e solo com altas concentrações de metais pesados (TEIXEIRA & LEMOS-FILHO, 2002; VINCENT et al., 2002) podem ser considerados relevantes na biologia e no processo evolutivo de espécies que ocorrem neste ambiente.

Os ecossistemas deste ambiente encontram-se ameaçados pela mineração de ferro, onde as áreas outorgadas oficialmente às empresas mineradoras deste recurso abrangem cerca de 300 mil km² do território brasileiro e nelas situam-se mais de 99% dos afloramentos de canga (CARMO et al., 2012).

Diante desse contexto, é necessário investir esforços para a restauração ecológica desses ambientes que já foram, estão sendo e serão degradados pela mineração. Muitos termos são utilizados quando se menciona ambiente degradado. Segundo MINTER/IBAMA (1990), a Recuperação é um termo que faz referência a ações que, tendo em vista o estado original de uma área severamente degradada, objetivam dar-lhe um uso futuro de acordo com um plano previamente estabelecido. Reabilitação refere-se também às ações sobre ecossistemas degradados, mas sem considerar seu estado original, objetivando

mais a produtividade da área, de acordo com sua aptidão natural. Porém, o “restauração ecológica”, definido e “Society for Ecological Restoration – SER”, (2004) é o termo para o processo de auxílio ao restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído. Neste sentido a meta da restauração não é o retorno ao original, e sim proporcionar a recuperação da estabilidade e integridade biológica dos ecossistemas afetados, mediante a recriação de comunidades ecologicamente viáveis, tendo como princípio fundamental implícito a sustentabilidade, ou seja, que a área restaurada não necessite mais de intervenção ou manejo futuro (ENGEL & PARROTA, 2003).

A restauração destas áreas é possível, porém trata-se de um processo criterioso, sendo necessária a escolha de espécies com características peculiares de êxito na sobrevivência e desenvolvimento em condições adversas (ALVES et al., 2007).

Segundo REZENDE (2010), algumas empresas de mineração têm realizado operações de resgate de flora previamente às intervenções de avanço de lavra e construção da infraestrutura necessária aos empreendimentos, como parte de seus programas de restauração ou através de exigências contidas nos licenciamentos ambientais.

De acordo com Lima et al. (2006) uma das causas do insucesso de programas de restauração de áreas degradadas por mineração é a falta de conhecimento dos ecossistemas de campo rupestre. Sendo assim, o desempenho da restauração em áreas mineradas está atrelado com a associação dos procedimentos de resgate e identificação das espécies endêmicas e ameaçadas, a produção de mudas, retirada e uso do *topsoil* e reintrodução das espécies através de plantios.

Neste contexto, a utilização de técnicas que visam proporcionar a regeneração natural, recomposição da vegetação com espécies autóctones e promoção de melhoria nas condições edáficas da área a ser recuperada pode ser determinante para o sucesso da recuperação do ecossistema.

4 USO DE TOPSOIL

O termo *topsoil* é utilizado para designar a faixa ou camada mais superficial do solo com influência marcante da matéria orgânica, da fauna do solo e de nutrientes minerais (IBAMA, 1990; BARTH, 1989; GRIFFITH, 2005). Pode ser entendido também como o material resultante do decapeamento da camada superficial do solo minerado e contém uma mistura composta por banco de sementes, micro, meso e macro fauna/flora, que são fatores

importantes na ciclagem dos nutrientes, na reestruturação e fertilização do solo (SANTOS, 2010).

Na avaliação do potencial do *topsoil* em uma floresta de carvalho em Kentucky, como uma ferramenta para restauração de minas, Hall et al. (2010) descrevem que o solo deve ser salvo e distribuído no local, a menos que seja de má qualidade. Moreira (2004), ao recuperar uma área degradada pela extração de bauxita, verificou que nas áreas que receberam *topsoil*, a regeneração natural foi mais exuberante quando comparado com as áreas que não receberam, devido à presença de um possível banco de semente e maior teor de matéria orgânica. Assim como Jakovac (2007) que ao avaliar a possibilidade de recuperação de taludes utilizando a técnica de transposição de *topsoil*, verificou que na área em que não houve deposição de *topsoil*, a regeneração natural foi inexpressiva.

Estudos que avaliaram o uso de *topsoil*, como estratégia para restauração de áreas degradadas, mostraram que o banco de semente contido nessa camada superficial do solo é uma rica fonte de sementes de espécies nativas, apresentando diversas formas de vida, como herbácea, lianas, arbustivas e arbóreas (MOREIRA, 2004; JAKOVAC, 2007; KLIMKOWSKA et al., 2010). Segundo Martins et al. (2002), as espécies herbáceas e subarbustivas exercem um importante papel na proteção do solo contra processos erosivos, além de incorporar matéria orgânica ao solo e contribuir para a ciclagem de nutrientes.

Nesse banco de sementes, podem existir espécies exóticas, que podem comprometer o desenvolvimento e sobrevivências das espécies nativas (SILVA, 2012), portanto é indicado fazer uma análise prévia do mesmo para avaliar sua viabilidade de uso.

A reposição do solo superficial pode melhorar a recolonização de espécies nativas em áreas degradadas, fornecendo condições de crescimento mais adequadas quando comparado com o rejeito da mineração (BRENNER et al., 1984). Espera-se que o grupo de espécies regenerantes do banco de sementes, em sua maioria pioneiras, atue como cicatrizador do ambiente (DENSLOW & GÓMESDIAS, 1990) e, junto com o solo orgânico introduzido, promovam mudanças das condições edáficas e microclimáticas da área a ser recuperada, criando condições para a chegada e desenvolvimento de outras espécies (POTTHOFF et al., 2005). Visto que o uso deste material é um procedimento recomendado em vários países para ativar o processo de restauração em minas a céu aberto (ZHANG et al., 2001), recomenda-se estudos que visem avaliar o potencial de uso do mesmo em áreas mineradas.

5 MODELO DE PLANTIO EM LEQUE

A escolha do espaçamento de plantio adequado visa proporcionar para cada indivíduo o espaço suficiente para se obter o crescimento máximo com a melhor qualidade e menor custo, sem, entretanto, desconsiderar a proteção do solo (REIS & REIS, 1993).

Na década de 1960, foram propostos alguns delineamentos alternativos para a aplicação de testes de espaçamento de plantio visando superar restrições como grandes áreas, repetição, aleatorização dos tratamentos, controle local e bordadura. Esses fatores acabam por restringir o número de espaçamentos testados nos ensaios de campo, dadas as dificuldades relativas às disponibilidades de área e recursos para instalação, manutenção e avaliações (STAPE, 1995).

Um delineamento sistemático consiste numa malha de pontos, cada um representando a posição de uma planta, sendo que cada área por planta e/ou retangularidade, ou seja, a razão entre as distâncias inter e intra linhas, é constante e muda conforme um modelo consistente nas diferentes partes da malha (ODA, 2005).

Entre os delineamentos sistemáticos propostos por Nelder (1962), destaca-se o modelo “Leque” que se baseia num sistema de raios e arcos de círculos concêntricos, onde a retangularidade é constante. Nesse delineamento, a área por planta aumenta com o aumento da distância da origem, sendo que os raios são separados por um ângulo constante e os arcos separados por uma progressão geométrica da distância radial. Os três principais valores que definem esse delineamento são a primeira distância radial ou raio inicial (r_0), o fator da progressão geométrica radial e o ângulo entre raios (θ), também destacando-se a retangularidade e a área associada por planta (A_1 a A_n) (Figura 1).

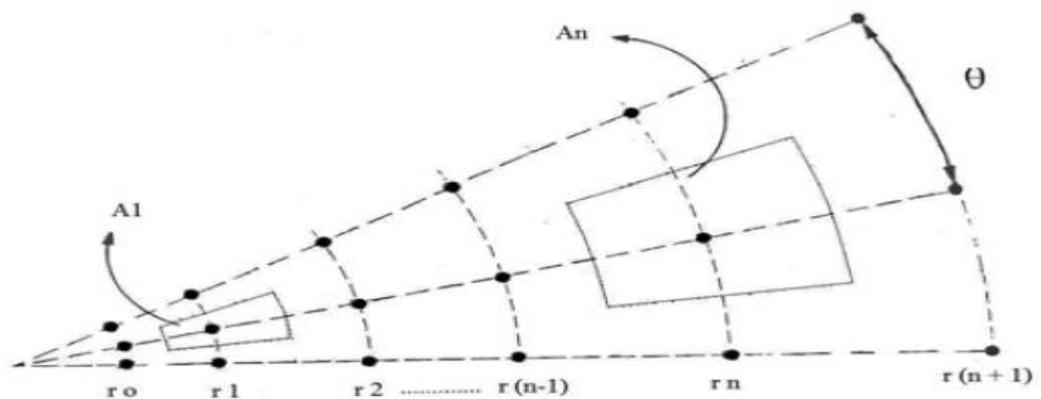


Figura 1. Valores do raio inicial (r_0), raios dos tratamentos (r_1 a r_n), ângulo entre raios (θ) e a área associada a cada planta (A_1 a A_n) no delineamento sistemático tipo “leque” (STAPE, 1995).

Uma das vantagens do delineamento sistemático é o seu uso para ensaios preliminares (LEEUWEN, 1994). Ocupam menos espaço, permitem incluir tratamentos extremos e são fáceis de observar com grande valor demonstrativo. Willey & Rao (1981) ressaltam ainda que são especialmente úteis no estudo inicial de respostas básicas, que têm potencial considerável de serem explorados.

Para a instalação de um delineamento sistemático, Huxley (1985), Pearce (1989) e Rao et al. (1990) apontam os seguintes critérios: a área deverá ser uniforme, plana e com tratos culturais adequadamente realizados.

Dois fatores são limitantes na utilização desse delineamento. O primeiro é que o arranjo sistemático (não casualizado) das plantas não permite o uso das análises convencionais, por ferir o princípio básico da casualização na alocação dos tratamentos. A falta da casualização não garante a independência dos erros associados a cada unidade experimental, tornando as unidades experimentais correlacionadas. O segundo é a alta sensibilidade para valores perdidos (ODA-SOUZA et al., 2008).

Segundo Nelder (1962), devido à inexistência de bordadura entre plantas e entre linhas, a ocorrência de falhas e mortalidade de algumas árvores faz com que as plantas vizinhas tenham área disponível de crescimento diferente daquela inicialmente estabelecida para os tratamentos. Assim, quando uma planta é perdida, o espaçamento das plantas vizinhas é alterado e, com isso, esses valores não podem ser incluídos no conjunto de dados, e informações consideráveis são excluídas das análises.

Devido as restrições para condução de um experimento aleatorizado, na utilização de um delineamento sistemático não há como evitar que as condições ambientais induzam dependência entre as unidades mensuradas, assim Oda-Souza et al. (2008) propõem que deve ser utilizado um modelo geoestatístico para descrever a dependência espacial, através de um componente de erro aleatório e espacialmente correlacionado.

Apesar de as preocupações relativas com a estimativa do erro experimental e, conseqüentemente, na análise estatística desse tipo de experimento, Wright (1976) considera que as grandes vantagens práticas dos delineamentos sistemáticos com fator quantitativo contínuo, aliadas ao forte apelo intuitivo de sua concepção mais compacta e abrangente, levaram também a área florestal, espelhando-se nas áreas hortícola e agrícola, a utilizar-se dos mesmos em seus estudos de espaçamentos.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A.S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, p. 617-625, 2007.

BARTH, R. C. **Avaliação da recuperação de áreas mineradas no Brasil**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, Boletim Técnico, n.1, 41p. 1989.

BLEASDALE, J.K.A. Systematic designs for spacing experiments. **Experimental Agriculture**, n.3, p.73-85, 1966.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal.

BRENNER, F. J., WERNER, M., PIKE, J. Ecosystem development and natural succession in surface coal mine reclamation. **Minerals and the Environment**, n.6, p.10–22, 1984.

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

CARVALHO FILHO, A. **Solos e ambientes do Quadrilátero Ferrífero (MG) e aptidão silvicultural dos tabuleiros costeiros**. 2008. 245p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

COOKE, J. A., JOHNSON, M. S. Ecological restoration of land with particular reference to the mining of metals and industrial minerals: A review of theory and practice. **Environ. Rev.** Canadá, Vol. 10, p. 41–71. 2002.

DENSLOW, J. S.; GOMEZ DIAS, A. E. Seed rain to tree-fall gaps in a neotropical rain forest. **Journal of Forest Research**, Canadá, 20: 642-648, 1990.

DIAS, L. E. Caracterização de substratos para fins de recuperação de áreas degradadas. In: DIAS, L.E.; MELLO, J.W.V., eds. **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, Editora Folha de Viçosa, 1998. p.27-41.

DIAS, L. E. Recuperação de áreas degradadas. In: **Anais do Encontro de preservação de mananciais da zona da mata de Minas Gerais**, 3., 2003. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2003. p.225-268.

DORR, J. N. Supergene iron ores of Minas Gerais, Brazil. **Economic Geology**, v. 59, p. 1203-1240. 1964.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Solos: 6º aproximação. Brasília: EMBRAPA Produção de informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006.

ENGEL, V. L.; PARROTA, J. A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E. de; MORAES, L. F. D. de; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B. (Org.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. Cap. 1, p. 01-26.

FEAM, **Certificado de Licenciamento Ambiental** – Licença de instalação nº 042 – Unidade de Comunicação/ Classificação Fábrica Nova. 2001.

FREEMAN, G.H. The use of systematic design for a spacing trial with a tropical tree crop. **Biometrics**, n.20, p.200-203, 1964.

GARDNER, J. Rehabilitación de minas para el mejor uso del terreno: laminería de bauxita en el bosque de jarrah de Australia Occidental. **Unasyuva**, Roma, v.52, n.207, p. 3-8, 2001.

GIULIETTI, A. M.; HARLEY, R. M.; DE QUEIROZ, L. P.; WANDERLEY, M. G. L.; VANDENBERG, C. Biodiversity and conservation of plants in Brazil. **Conservation Biology**, v.19, p.632-639. 2005.

GIULIETTI, A. M.; MENEZES, N. L.; PIRANI, J. R.; MEGURO, M.; WANDERLEY, M. G. L. Flora da Serra do Cipó: caracterização e lista de espécies. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo**, São Paulo, v. 9, p. 1-151. 1987.

GIULIETTI, A. M.; PIRANI, J. R. Patterns of geographic distribution of some plant species from the Espinhaço Range, Minas Gerais and Bahia, Brazil. In P. E. Vanzolini & W. R. Heyer (Eds.), In: **Proceedings of a Workshop on Neotropical Distribution Patterns**. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro (p. 39-69), 1988.

GIULIETTI, A.M.; PIRANI, J.R.; HARLEY, R.M. Espinhaço Range Region, Eastern Brazil. Pp. 397-404. 1997. In: DAVIS, S.D.; HEYWOOD, V.H.; HERRERA-MACBRIDE, O.; VILLA-LOBOS, J.; HAMILTON, A.C. (Eds.). **Centres of plant diversity. A guide and strategy for their conservation**. The Americas. Cambridge, IUCN Publication Unity.

GRIFFITH, J. J. **O estado da arte de recuperação de áreas mineradas no Brasil.** <http://geologiaambientalufc.hpg.ig.com.br> [2005].

HALL, S. L.; BARTON, C. D.; BASKIN, C. C. Topsoil Seed Bank of an Oak–Hickory Forest in Eastern Kentucky as a Restoration Tool on Surface Mines. **Restoration Ecology**, Washington, v.18, n.6, p.834-842, 2010.

HUXLEY, P.A. Systematic designs for field experimentation with multipurpose trees. **Agroforestry Systems**, n.3, p.197-207, 1985.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: Técnicas de revegetação.** Brasília, IBAMA, 96p. 1990.

JACOBI, C.M.; 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.

JACOBI, C. M.; CARMO, F. F. The Contribution of Ironstone Outcrops to Plant Diversity in the Iron Quadrangle, a Threatened Brazilian Landscape. **AMBIO**, v.37, n.4, p.324-326, 2008.

JAKOVAC, A. C. C. **O uso do banco de sementes florestal contido no topsoil como estratégia de recuperação de áreas degradadas.** 2007. 152 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

KLIMKOWSKA, A.; KOTOWSKI, W.; VAN DIGGELEN, R.; GROOTJANS, A.P.; DZIERZA, P.; BRZEZINSKA, K. Vegetation re-development after fen meadow restoration by topsoil removal and hay transfer. **Restoration Ecology**, v.18, p.924-933, 2010.

KOPEZINSKI, I. **Mineração x meio Ambiente:** considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

LARCHER, W. 1995. **Physiological Plant ecology.** Springer Verlag, Berlin, 506p.

LEEUWEN, J.V. Planejamento de ensaios com sistemas agroflorestais. In: **Anais do Congresso Brasileiro sobre Sistemas Agroflorestais; Encontro sobre Sistemas Agroflorestais nos Países do Mercosul**, Porto Velho, 1994. Colombo: EMBRAPA, PR, v.1, p.463-473.

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

MARTINS, S. V.; BUSATO, L. C.; CALEGARI, L.; RIBEIRO, T. M. A contribuição da ecologia florestal no desenvolvimento de modelos e técnicas de restauração florestal de áreas degradadas. **Ação Ambiental**, Viçosa, n.36, p.10-13, 2007.

MOREIRA, P. R. **Manejo de solo e recomposição da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita, Poços de Caldas, MG.** 2004. 139p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Piracicaba, 2004.

NELDER, J. A. New kinds of systematic designs for spacing experiments. **Biometrics**, n.18, p.283-307, 1962.

ODA, M. L. **Aplicação de métodos geoestatísticos para identificação de dependência espacial na análise de dados de um experimento em delineamento sistemático tipo “Leque”.** 2005. 72 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

ODA-SOUZA, M.; BARBIN, D.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; STAPE, J. L. Aplicação de métodos geoestatísticos para identificação de dependência espacial na análise de dados de um ensaio de espaçamento florestal em delineamento sistemático tipo leque. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.3, p.499-509, 2008.

OLIVEIRA, D. M. F. **Estudo da viabilidade de utilização de indicadores de recuperação de áreas degradadas por mineração de bauxita.** 2003. 75p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

PEARCE, S. C. **The agriculture field experiments: a statistical examination of theory and practices.** Chichester, John Willey, 1989, 335p.

PEREIRA, M. A. **Viabilidade de manejo comercial em Reserva Legal no Pontal do Paranapanema com ênfase em aspectos ambientais, sociais e econômicos.** 2010. 127f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Conservação Ambiental e Sustentabilidade (ESCAS), Nazaré Paulista, 2010.

PINHEIRO, C. Q. **Avaliação da recuperação da cascalheira do Aeroporto Internacional de Brasília Juscelino Kubitschek: aspectos edáficos, florísticos e ecológicos.** 2008. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

PIRANI, J.R.; MELLO-SILVA, R., GIULIETTI, A. M. 2003. Flora de Grão-Mogol, Minas Gerais, Brasil. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo** v.21, n.1, p.1-24.

POMERENE, J. B. Geology and ore deposits of the Belo Horizonte, Ibirité, and Macacos quadrangles, Minas Gerais, Brazil. **Geological Survey Professional Paper**, v. 34, p. 1-84. 1964.

PORTO, M. L.; SILVA, M. F. F. Tipos de vegetação metalófila em áreas da Serra dos Carajás e de Minas Gerais, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.3, n.1, p.13-21, 1989.

POTTHOFF, M.; JACKSON, L.E.; STEENWERTH, K.L.; RAMIREZ, I.; STROMBERG, M.R.; ROLSTON, D.E. Soil biological and chemical properties in restored perennial grassland in California. **Restoration Ecology**, v.13, n.1, p.61-73, 2005.

RAO, M.R.; SHARMA, M.M.; ONG, C.K. A study of the potencial of hedgerow intercropping in semi-arid India using a two-way systematic design. **Agroforestry Systems**, n.11, p.243-258, 1990.

RAPINI, A.A.; RIBEIRO, P.L.; LAMBERTI, S.; PIRANI, J.R. A flora dos campos Rupestres Quartzíticos da Cadeia do Espinhaço. **Megadiversidade**, v. 4, p. 16-24. 2008.

REIS, G.G.; REIS, M.G.F. Competição por luz, água e nutrientes em povoamentos florestais. In: **Anais do Simpósio brasileiro de pesquisa florestal**, 1., 1993, Belo Horizonte. Viçosa: SIF/UFV, 1993. p.161-173.

REZENDE, L. A. L. **Reabilitação de campos ferruginosos degradados pela atividade minerária no Quadrilátero Ferrífero**. 2010. 63p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**. 2.ed. São Paulo: HUCITEC/Universidade de São Paulo, 1997. 374p.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 3.ed. São Paulo: Edusp/Fapesp, 2000. p. 235-248.

ROSIÈRE, C. A. 2015. Formações Ferríferas e Minérios de Alto Teor Associados. In: Ruchkys, U.A.; Rasteiro, M.; Travassos, L.P. & Faria, L. **Patrimônio Espeleológico em**

rochas ferruginosas: propostas para sua conservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Belo Horizonte: SBE. p. 89-114.

SANTOS, L. M. **Restauração de campos ferruginosos mediante resgate de flora e uso de topsoil no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais.** 2010. 128p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SCHAEFER, C. E. R.; MICHEL, R. F. M.; CHAGAS, C. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; VALENTE, E. L.; SOUZA, E.; VASCONCELOS, B. N. F. ; RIBEIRO, A. S. S. **Relatório do levantamento pedológico, geomorfológico e geológico para o Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra do Cipó e APA Morro da Pedreira.** Viçosa: UFV/DPS, 2008.

SER - Society for Ecological Restoration International Science e Policy Working Group. 2004. **The SER International Primer on Ecological Restoration.** Disponível em: https://www.ser.org/pdf/SER_Primer_. Acesso: 20/11/2015.

SHEORAN, V.; SHEORAN, A. S.; AND POONIA, P. (2010) "Soil Reclamation of Abandoned Mine Land by Revegetation: A Review. **International Journal of Soil, Sediment and Water:** Vol. 3: Iss. 2, Article 13.

SILVA, N. F. **Avaliação de diferentes técnicas na recuperação de uma cascalheira em Diamantina, MG.** 2012. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2012.

SILVA, S. R.; PROCOPIO, S. O.; QUEIROZ, T. F. N.; DIAS, L. E. Caracterização de rejeito de mineração de ouro para avaliação de solubilização de metais pesados e arsênio e revegetação local. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa. v.28, p.189-196, 2004.

STAPE, J. L. **Utilização de delineamento sistemático tipo *leque* no estudo de espaçamentos florestais.** 1995. 86f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1995.

TEIXEIRA, W. A.; LEMOS FILHO, J. P. Metais pesados em folhas de espécies lenhosas colonizadoras de uma área de mineração de ferro em Itabirito, Minas Gerais. **Revista Árvore,** v.22, n.3, p.381-387, 1998.

VINCENT, R. C. **Florística, fitossociologia e relações entre a vegetação e o solo em áreas de campos ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.** São Paulo: USP, 2004. 145p.: il. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade de São Paulo, 2004.

VINCENT, R. C.; JACOBI, C. M.; ANTONYNY, Y. Diversidade na adversidade. **Ciência Hoje**, v.31, n.185, p.64-67, 2002.

VITOUSEK, P. M., EHRLICH, P. R., EHRLICH, A. H., AND MATSON, P. 1986. Human appropriation of the products of photosynthesis. **Bioscience**, 36: 368–373.

WILLEY, R. W.; RAO, M.R. A systematic design to examine effects of plant population and spatial arrangement in intercropping, illustrated by an experiment on chickpea/safflower. **Experimental Agriculture**, n.17: p.68-73, 1981.

WRIGHT, H. L. Experiments as a source of data for growth models. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 16, Oslo, 1976. **Proceedings...**, Oslo: IUFRO, v.1, p.60-73, 1976.

ZHANG, Z. Q., SHU, W. S., LAN, C. Y., WONG, M. H. Soil seed bank as an input of seed source in revegetation of lead/zinc mine tailings. **Restoration Ecology**, 9 (4): 378-384, 2001.

CAPÍTULO 2: ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO UTILIZANDO O MODELO EM LEQUE PARA DUAS ESPÉCIES DE CAMPO RUPESTRE FERRUGINOSO

RESUMO

O sucesso da restauração ambiental depende do conhecimento das espécies, assim também de como manejá-las na implementação das diversas técnicas que vêm sendo utilizadas nos diferentes ecossistemas. O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito do espaçamento de plantio no incremento em altura e em diâmetro de *Pseudobombax campestre* e também na sobrevivência de *Pseudobombax campestre* e *Vellozia ramosissima* no modelo de plantio em Leque na restauração ecológica de uma pilha de estéril de canga ferruginosa. O experimento foi instalado em delineamento sistemático tipo “Leque”, conforme o modelo (IA) proposto por Nelder (1962), em que se avaliou oito espaçamentos de plantio, variando de 2 m²/planta a 9,3 m²/planta. As avaliações ocorreram aos quatro, oito e doze meses após o replantio. Para avaliar os melhores tratamentos foram realizadas análises de variância (ANOVA) a 5% de significância. Para a sobrevivência realizou-se o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis a 5% de significância. As duas espécies estudadas apresentaram nos períodos avaliados sobrevivência acima de 80%. O incremento em altura e diâmetro de *P. campestre* foi crescente ao longo do período avaliado, apresentando respectivamente uma média geral de 34,3 cm e 16,6 mm aos doze meses após o replantio. Os espaçamentos de plantio testados para as espécies *Vellozia ramosissima* e *Pseudobombax campestre* não apresentaram diferenças significativas para todas as variáveis avaliadas.

Palavras-chave: Plantio de mudas. Espaçamento. Restauração. *Vellozia ramosissima*. *Pseudobombax campestre*.

ABSTRACT

The success of the environmental restoration depends on the knowledge of the species, as well as on how to manage them in implementing the several techniques which have been applied in different ecosystems. The aim of this study was to evaluate the effect of planting spacing on increase in height and diameter *Pseudobombax campestre* and also in survival *Pseudobombax campestre* and *Vellozia ramosissima* in in fan-shaped planting model in ecological restoration of a waste dump yoke ferruginous. The experiment was installed in a fan-shaped systematic design, according to the model (IA) proposed by Nelder (1962), in which were evaluated eight planting spacings ranging from 2 m²/plant to 9.3 m²/plant. The evaluations were performed at four, eight and twelve months after replanting. In order to evaluate the best treatments we performed variance analysis (ANOVA) at 5% significance level. For survival we used the nonparametric Kruskal-Wallis test at 5% significance level. Both the studied species showed survival above 80% in the evaluated periods. The increment in height and diameter of *P. campestre* was increasing over the studied period, presenting an overall average of 34.3 cm and 16.6 mm, respectively, during the twelve months after replanting. The planting spacing for tested *Vellozia ramosissima* and *Pseudobombax campestre* presented no significant differences for all variables.

Keywords: Seedlings planting. Planting spacing. Ecological restoration. *Vellozia ramosissima*. *Pseudobombax campestre*.

1 INTRODUÇÃO

Na porção mineira da Cadeia do Espinhaço ocorrem os campos rupestres ferruginosos, áreas sobre solos ricos em minério de ferro, reconhecidos por possuírem grande importância biológica justificada pela alta diversidade, presença de espécies endêmicas e raras (JACOBI et. al., 2007), distribuídas em áreas restritas e de difícil acesso (JACOBI & CARMO, 2008).

O sucesso da restauração ambiental depende do conhecimento das espécies, assim também de como manejá-las na implementação das diversas técnicas que vem sendo utilizadas nos diferentes ecossistemas (LIMA et al., 2014). Sendo assim, os afloramentos ferruginosos devem ser alvo de estudo e aprimoramento das técnicas de conservação e restauração ambiental (REZENDE, 2010).

Entre as condicionantes exigidas no processo de licenciamento ambiental pelos órgãos competentes, destaca-se a obrigatoriedade de viabilizar metodologias destinadas à restauração de vegetação nativa nas áreas mineradas (SANTOS, 2010).

Em empreendimentos que demandam a supressão vegetal, o resgate é uma técnica que busca salvar as espécies para posterior reintrodução em áreas degradadas buscando-se estabelecer maior semelhança possível com as áreas naturais (SANTOS, 2010). A falta de estudos da ecofisiologia das espécies a serem resgatadas, replantadas e reproduzidas resulta em limitação dos processos de reabilitação (REZENDE, 2010).

O gênero *Vellozia* compreende cerca de 45% das espécies da família Velloziaceae. Várias destas espécies, especialmente as arbustivas e arborescentes, constituem importantes forófitos para diversas espécies, particularmente Orchidaceae (BARROS & LOURENÇO, 2004), sendo diversas destas epífitas exclusivas de seus caules, além de serem utilizadas também como substrato de nidificação para abelhas.

A espécie *Pseudobombax campestre* (Mart. & Zucc.) A. Robyns (Malvaceae) é um arbusto que às vezes chega a ter porte arbóreo, podendo atingir até 5 m altura. Ocorre na Bahia, apenas sobre afloramentos rochosos em campos rupestres, entre 1150 e 1500 m de altitude, encontrada, também, na Serra do Cipó, em Minas Gerais, podendo, então, ser considerada como endêmica da Cadeia do Espinhaço (SOBRINHO, 2006).

Um fator de grande importância em programas de recomposição da vegetação é o espaçamento de plantio, o qual influencia na otimização do uso dos recursos disponíveis (REIS & REIS, 1993), na taxa de crescimento (BERGER et al., 2002), no recobrimento do

solo (GANDOLFI et al., 2009) e nos custos de implantação e de manutenção (PINARODRIGUES et al., 1997).

Para estudar o espaçamento de plantio geralmente são necessárias grandes áreas, repetição, aleatorização dos tratamentos, controle local e bordadura. Assim, na década de 60, foram propostos alguns delineamentos alternativos para aplicação de testes de espaçamento de plantio visando superar essas restrições que tornam o processo oneroso. Entre os delineamentos propostos estão os sistemáticos de Nelder (1962), inicialmente utilizados na área agrícola, e posteriormente usados na área florestal com o objetivo de diagnosticar entre espaçamentos testados quais apresentariam melhores resultados e aplicação desses melhores na forma convencional (FREEMAN, 1964; BLEASDALE, 1966; HUXLEY, 1985). Entre as vantagens desse delineamento para a aplicação na área florestal estão a possibilidade de comparar espaçamentos diferentes e um número significativo de repetições em uma área compacta (NAMKOONG, 1966; WRIGHT, 1976). Por isso, tem sido utilizado para testar materiais genéticos e espaçamentos de espécies arbóreas em novos sítios de reflorestamento (STAPE, 1995, ODA-SOUZA et al., 2008). Na recuperação de áreas degradadas é extremamente importante, porque permite a formação de áreas em formato circular menos susceptíveis aos efeitos de borda (ARAÚJO et al., 2014).

Diante do exposto, o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito do espaçamento de plantio no incremento em altura e em diâmetro de *Pseudobombax campestre* e também na sobrevivência de *Pseudobombax campestre* e *Vellozia ramosissima* no modelo de plantio em Leque na restauração de campo rupestre ferruginoso. Adicionalmente, também foi avaliado o potencial de utilização do modelo Leque para posterior aplicação, como plantio em ilhas na recuperação de áreas degradadas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área do experimento

A área do estudo pertence à empresa de mineração *Anglo American*, com sede no município de Conceição do Mato Dentro (MG), situado na borda leste da Serra do Espinhaço Meridional. A área experimental é o topo de uma pilha de estéril de canga ferruginosa que foi confeccionada no ano de 2010 e situa-se nas coordenadas 18°53'09,6"S e 43°25'01,2" W, com altitude média de 701 metros (Figura 1). O clima da região é classificado

como subtropical úmido, Cwa na classificação de Köppen, apresentando temperatura média anual de 20°C e precipitação média anual de 1.727,7 mm.



Figura 1. Área experimental sobre pilha de estéril de minério de ferro em Conceição do Mato Dentro, MG (Word View - Anglo American, 2013).

2.2 Instalação do experimento

Inicialmente, em setembro de 2013, foi depositada sobre a área experimental uma camada de aproximadamente 1m de altura de *topsoil* associado à canga ferruginosa proveniente de áreas de campo rupestre ferruginoso em que houve supressão da vegetação para instalação da cava, sendo que às áreas de coleta e deposição do *topsoil* distam de 2600 m. O material depositado é composto por matacões e frações menores de canga ferruginosa, além de restos vegetais. Juntamente a esse material, caules secos de indivíduos da família Velloziaceae foram espalhados sobre a área como fonte de matéria orgânica.

O experimento foi instalado em delineamento sistemático tipo “leque”, conforme o modelo (IA) proposto por Nelder (1962) (Modelo de plantio em Leque), com oito tratamentos (arcos) e 36 raios, contando com bordadura interna com raio de 9,14 m e com uma bordadura externa com raio de 24,57 m (Figura 2), totalizando a área total do experimento de 1964 m². Em cada tratamento foi associada uma distância radial, área por

planta e densidade, conforme a Tabela 1, de forma a manter uma retangularidade, isto é, garantindo distâncias constantes entre plantas no raio e nos arcos (STAPE, 1995).

O círculo foi dividido em dois leques com 18 raios cada, para avaliar o efeito do espaçamento de plantio de duas espécies, *Vellozia ramosissima* (Velloziaceae) e *Pseudobombax campestre* (Malvaceae), as quais foram avaliadas como experimentos independentes.

A partir da divisão do círculo em dois leques, os raios inicial e final de cada espécie foram considerados como bordaduras, sendo assim estes não foram contemplados na análise dos dados, portanto avaliados efetivamente 16 raios. Assim como a muda inicial e final de cada raio, também foram consideradas como bordadura.

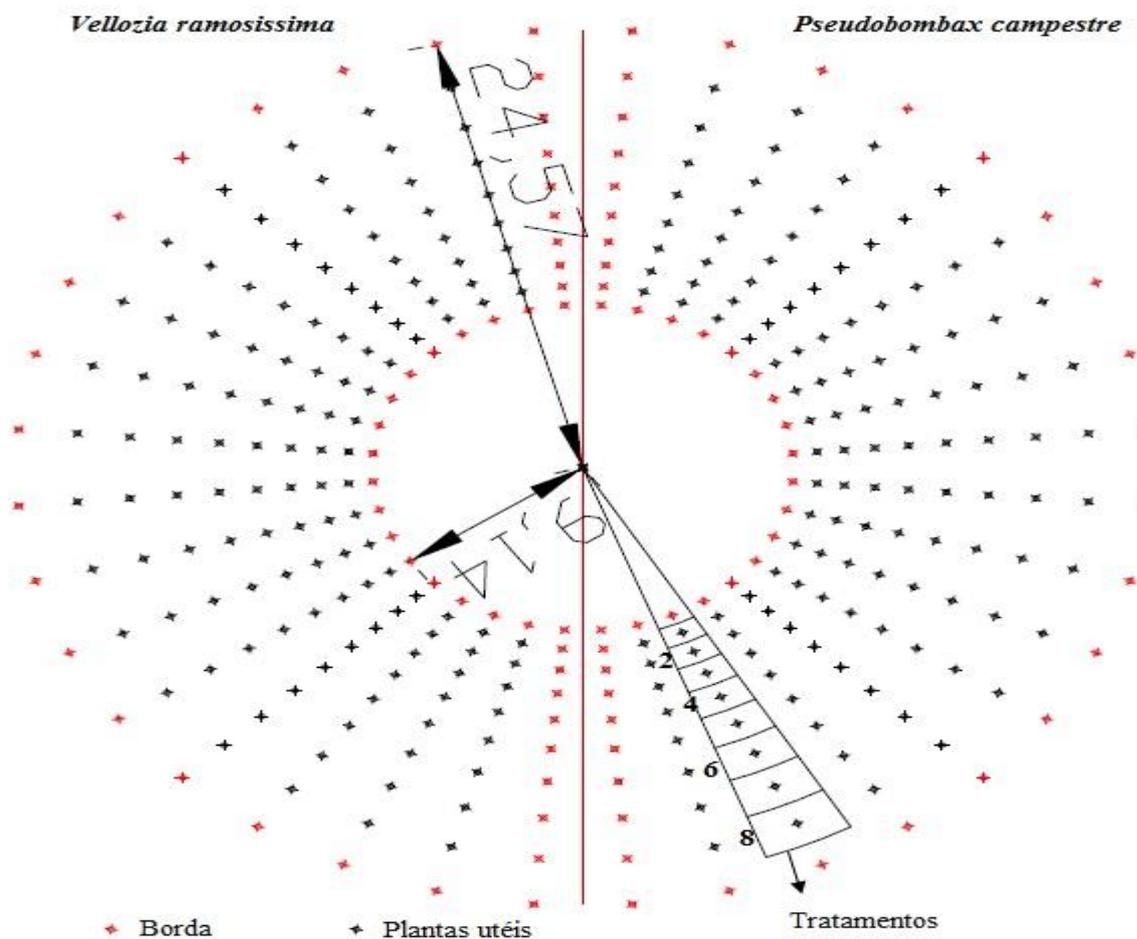


Figura 2. Croqui do modelo de plantio em Leque utilizado no experimento em uma pilha de estéril de minério de ferro em Conceição do Mato Dentro, MG.

Tabela 1. Valores da distância radial, área por planta e densidade de plantas de oito tratamentos (espaçamentos) do modelo de plantio em Leque utilizado no experimento em uma pilha de estéril de minério de ferro em Conceição do Mato Dentro, MG

Tratamentos	Distância Radial (m)	Área (m ² /planta)	Densidade (plantas/ha)
1	10,20	2,0	5000
2	11,39	2,5	4014
3	12,71	3,1	3222
4	14,19	3,9	2586
5	15,83	4,8	2076
6	17,67	6,0	1667
7	19,72	7,5	1338
8	22,01	9,3	1074

Para a construção do círculo, a equipe de topografia da empresa demarcou a área com um ponto central e a partir deste foram alocados 36 raios, com ângulo de 10° entre eles. Para a demarcação das covas nos raios ou linhas de plantio, confeccionou-se com auxílio de um barbante uma linha padronizada no tamanho do raio, onde foi marcado com fita adesiva colorida, no qual seria o local de cada cova. A linha padronizada foi esticada em cada raio do ponto central ao piquete final e na projeção da fita adesiva foram demarcadas as covas.

As mudas utilizadas no experimento foram resgatadas na área da cava antes da supressão, transportadas para o viveiro da empresa. As mudas de *V. ramosissima* e *P. campestre* permaneceram no viveiro por três e dois anos, respectivamente, até o momento do plantio. As mudas foram depositadas em recipientes preenchidos por material de origem canga ferruginosa, onde as plantas de *V. ramosissima* e plântulas de *P. campestre* foram mantidas em sacos de ráfia e sacos plásticos, respectivamente. Antes do plantio foi aplicado 200 gramas de fosfato natural no fundo da cova.

O plantio foi realizado em dezembro de 2013 e janeiro de 2014. Em virtude dos baixos índices pluviométricos ocorridos após o plantio, foi necessário o uso de um sistema de irrigação. Sendo assim, após a instalação do mesmo, em maio de 2014, foi realizado o replantio. A utilização da irrigação foi feita de acordo com a disponibilidade da empresa, em média, duas vezes por semana, por seis meses.

Após o replantio, que ocorreu cinco meses após o plantio, procedeu-se a primeira medição da altura dos indivíduos de *Pseudobombax campestre* que foi considerada a partir do colo à inserção da última gema e o diâmetro do coletor das mudas, medidas

respectivamente com o auxílio de régua graduada em centímetros e paquímetro digital com precisão de milímetros.

2.3 Caracterização do substrato

Para caracterizar o substrato foram realizadas análises físico-químicas, após 12 meses da instalação do experimento, assim foram coletadas aleatoriamente na área experimental sete amostras simples para formar uma amostra composta (300 cm³) nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, para cada área de plantio das espécies estudadas. As análises das amostras foram realizadas no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, segundo o protocolo da Embrapa (1997).

Tabela 2. Características químicas e físicas de amostras de substrato de canga ferruginosa nas camadas de 0-10 e 10-20 cm nas áreas dos experimentos de plantio de *V. ramosissima* e *P. campestre* em uma pilha de estéril de minério de ferro em Conceição do Mato Dentro, MG

Atributo	Unidade	Área de plantio			
		<i>V. ramosissima</i>		<i>P. campestre</i>	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
pH ⁽¹⁾		4,7	4,4	5,1	4,7
P ⁽²⁾	mg/dm ³	2,8	2,9	69,5	90,0
K ⁽²⁾	mg/dm ³	49,0	54,0	35,0	51,0
Ca ²⁺⁽³⁾	cmolc/dm ³	1,5	1,7	2,5	3,3
Mg ²⁺⁽³⁾	cmolc/dm ³	0,3	0,3	0,3	0,3
Al ³⁺⁽³⁾	cmolc/dm ³	0,9	0,9	0,2	0,3
H + Al ⁽⁴⁾	cmolc/dm ³	10,7	13,0	8,2	10,1
SB	cmolc/dm ³	1,9	2,1	2,9	3,7
t	cmolc/dm ³	2,8	3,0	3,1	4,0
T	cmolc/dm ³	12,6	15,1	11,1	13,8
Cu ⁽²⁾	mg/dm ³	0,5	0,5	0,6	0,4
Mn ⁽²⁾	mg/dm ³	20,5	18,7	24,4	19,8
Fe ⁽²⁾	mg/dm ³	241,2	346,6	147,1	158,0
Zn ⁽²⁾	mg/dm ³	1,6	1,8	1,9	1,7
V	%	15,3	14,1	25,8	26,8
m	%	31,8	29,6	6,6	7,5
P-Rem	mg/L	29,2	25,0	40,6	38,4
Areia grossa	kg/kg	0,537	0,495	0,468	0,523
Areia fina	kg/kg	0,108	0,137	0,158	0,117
Silte	kg/kg	0,168	0,163	0,249	0,204
Argila	kg/kg	0,188	0,205	0,125	0,155
Equivalente de umidade	kg/kg	0,14	0,15	0,14	0,14

⁽¹⁾pH em água relação 1:2,5; ⁽²⁾Extrator Mehlich-1; ⁽³⁾ Extrator KCl 1,0 mol /L ; ⁽⁴⁾ Extrator acetato de cálcio 0,5 mol/ L - pH =7,0

2.4 Variáveis mensuradas

Para as duas espécies estudadas foram avaliadas a porcentagem de sobrevivência, sendo para *Vellozia ramosissima* aos seis e doze meses após o replantio e para *Pseudobombax campestre* aos quatro, oito e doze meses após o replantio. A diferença dos tempos de medição deve-se às características distintas relacionadas ao ritmo de crescimento das espécies avaliadas, sendo lento a *V. ramosissima* e rápido o *P. campestre*. A análise da sobrevivência foi realizada através da porcentagem de indivíduos mortos, que se baseou na ausência de folhas, folhas secas e caules secos.

Para *Pseudobombax campestre*, além da porcentagem de sobrevivência, foi avaliado o incremento periódico para altura e para o diâmetro que foi obtido pela diferença das medições realizadas aos quatro, oito e doze meses em relação à primeira medição.

2.5 Análises estatísticas

Foi investigado se há dependência espacial entre as unidades amostrais, por meio de análises geoestatísticas em que foram construídos semivariogramas para as variáveis incremento em diâmetro e em altura de *Pseudobombax campestre* em função do espaçamento. Para a variável sobrevivência, em virtude de sua característica discreta não se justifica verificar a dependência espacial.

Os modelos teóricos semivariogramas exponencial e Matérn (K=1 e K=2) foram ajustados aos valores do semivariograma experimental. Os parâmetros do semivariograma foram estimados pelo método de máxima verossimilhança e, para a seleção de modelos, utilizou-se o Critério de Akaike (AIC) (AKAIKE, 1983), o qual é baseado na teoria de decisão, em que o melhor modelo é aquele que apresentou menor valor de AIC.

Para classificar a dependência espacial foi calculada a proporção do efeito pepita em relação à semivariância total (efeito pepita somado a variância), expressa em porcentagem. A proporção <25% indica forte dependência espacial, entre 25 e 75% indica moderada dependência espacial, e >75% indica fraca dependência espacial, conforme proposto por Cambardella et al. (1994).

Foi realizada a análise da dependência espacial nos semivariogramas e, caso a mesma não tenha ocorrido, seria realizada a análise estatística clássica, com base em um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. A unidade experimental foi constituída por quatro mudas (réplicas).

Para testar a hipótese de normalidade do conjunto de dados, foi utilizada a família de transformações Box-Cox (BOX e COX, 1964). Essa família depende diretamente de um parâmetro, que é o coeficiente de transformação dos dados. Quando o parâmetro apresenta valor igual a 1 não é necessária a transformação. Para outros valores do parâmetro, utilizou-se os exemplos das transformações utilizados por Miranda (2013).

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade de resíduos de Shapiro-Wilk (SHAPIRO, 1965) e homogeneidade de variâncias de Bartlett (BARTLETT, 1937), quando não apresentavam normalidade de resíduos e/ou homogeneidade de variâncias os dados foram submetidos a transformações. Para avaliar os melhores tratamentos, foram realizadas análises de variância (ANOVA) a 5% de significância. Quando ocorreram valores negativos ou incremento igual à zero, para alguma das variáveis mensuradas, estes foram removidos por causar desvios nas análises. Para a sobrevivência realizou-se o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis a 5% de significância, para avaliar os espaçamentos.

Todas as análises foram efetuadas no Software R (R CORE TEAM, 2015), onde foram utilizados os pacotes Analysis of Geostatistical Data (RIBEIRO JÚNIOR & DIGGLE, 2015) e Experimental Designs package (Portuguese) (FERREIRA et al., 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise da dependência espacial

Pseudobombax campestre apresentou em termos médios, aos quatro, oito e doze meses 4,5, 26,8 e 34,3 cm de incremento em altura, respectivamente. Já para o diâmetro foi verificado incremento de 2,9, 8,7 e 16,6 mm nos respectivos períodos avaliados.

Foi verificado se há dependência espacial entre as unidades amostrais, para as variáveis incremento em altura e em diâmetro de *Pseudobombax campestre* em todos os períodos avaliados. As funções ajustadas encontram-se no limite do intervalo do envelope simulado, alguns semivariogramas apresentaram pontos fora do envelope, ocorrendo a dependência espacial (Figura 3). Os valores de proporção do efeito pepita em relação à semivariância total variaram de 35 a 100% para as variáveis analisadas, portanto a dependência espacial foi classificada como fraca a moderada (Tabela 3). O que não justifica considerá-la com a aplicação de um modelo geoestatístico, assim como definido por ODA-SOUZA, (2008).

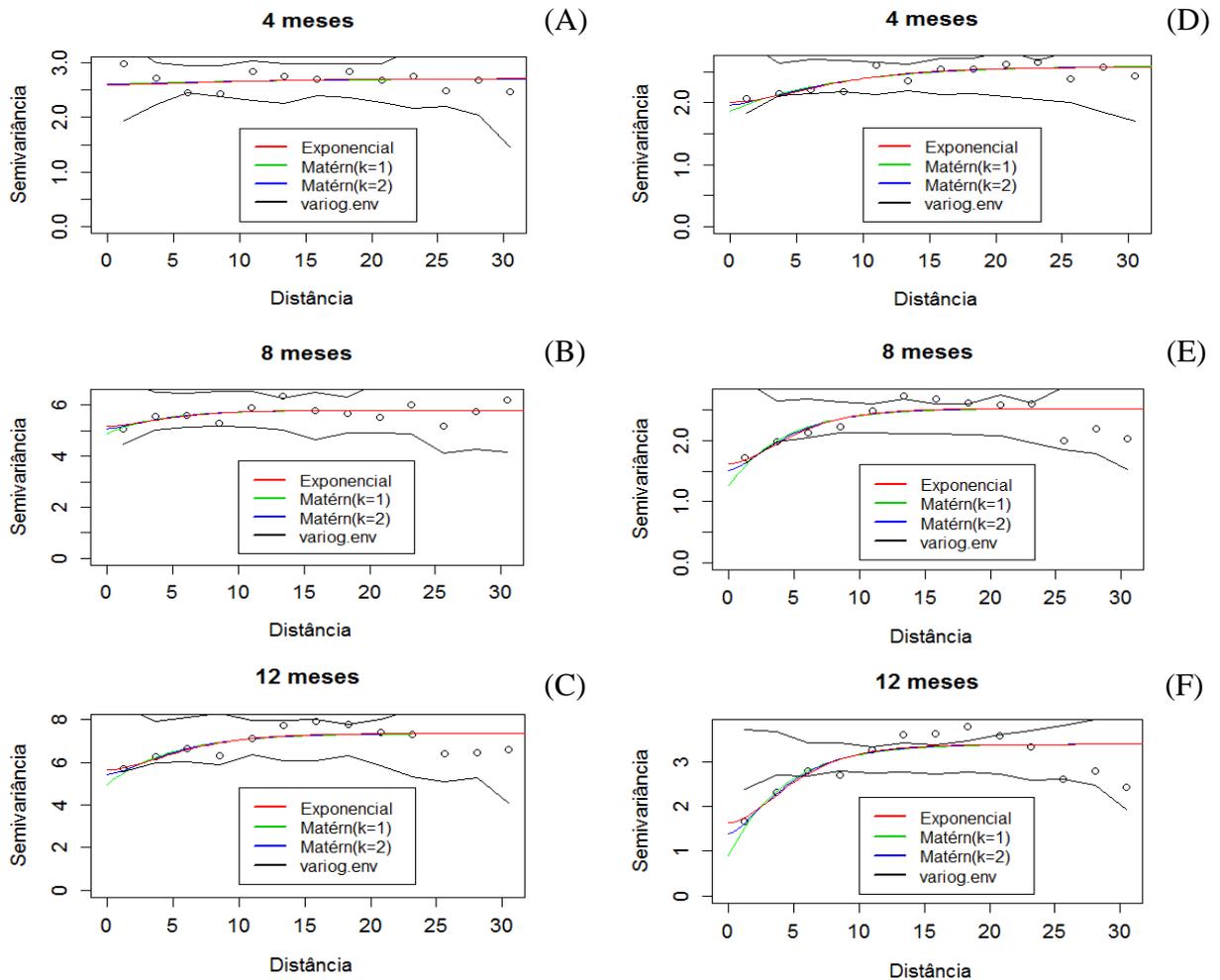


Figura 3. Ajuste dos semivariogramas teóricos aos valores do semivariograma empírico e envelope simulado para o incremento em altura (A, B e C) e em diâmetro (D, E e F) de *Pseudobombax campestre* nos três períodos avaliados. Parâmetros ajustados por máxima verossimilhança considerando-se as estruturas de covariância exponencial, Matérn com K=1 e Matérn com K=2.

Tabela 3. Resultados das estimativas dos parâmetros, variância ($\hat{\sigma}^2$), efeito pepita ($\hat{\tau}^2$), alcance ($\hat{\phi}^2$), logaritmo da função de verossimilhança (Log), número de parâmetros do modelo considerado (Npars) e critério de Akaike (AIC) para as variáveis incremento (Inc.) em altura e em diâmetro de *Pseudobombax campestre* para todos os períodos avaliados pelo método de estimação de parâmetros do modelo geoestatístico utilizando diferentes modelos de função de correlação

Variável	Tempo (meses)	Função de Correlação	$\hat{\sigma}^2$	$\hat{\tau}^2$	$\hat{\phi}^2$	Log	Npars	AIC	P (%)	C
Inc. em altura	4	Exponencial	0.000	2.644	0.000	-224.804	11	471.608	100	F
		Matérn ($k=1$)	0.000	2.644	0.000	-224.804	11	471.608	100	F
		Matérn ($k=2$)	0.000	2.644	0.000	-224.804	11	471.608	100	F
	8	Exponencial	0.000	5.672	0.000	-281.263	11	584.526	100	F
		Matérn ($k=1$)	0.000	5.672	0.000	-281.263	11	584.526	100	F
		Matérn ($k=2$)	0.000	5.672	0.000	-281.263	11	584.526	100	F

Tabela 3. Continuação....

Variável	Tempo (meses)	Função de Correlação	$\hat{\sigma}^2$	$\hat{\tau}^2$	$\hat{\phi}^2$	Log	Npars	AIC	P (%)	C
Inc. em diâmetro	12	Exponencial	2.156	4.824	3.513	-280.433	11	582.865	69	M
		Matérn ($k=1$)	1.831	5.139	2.379	-280.439	11	582.877	74	M
		Matérn ($k=2$)	1.769	5.196	1.504	-280.447	11	582.894	75	M
	4	Exponencial	0.024	2.370	0.100	-233.785	11	489.570	99	F
		Matérn ($k=1$)	0.024	2.370	0.100	-233.785	11	489.570	99	F
		Matérn ($k=2$)	1.046	1.341	0.627	-231.794	11	485.588	56	M
	8	Exponencial	1.016	1.267	3.153	-223.708	11	469.416	55	M
		Matérn ($k=1$)	0.854	1.428	2.194	-223.669	11	469.339	63	M
		Matérn ($k=2$)	0.794	1.487	1.463	-223.634	11	469.268	65	M
12	Exponencial	2.014	1.078	3.432	-225.78	11	473.565	35	M	
	Matérn ($k=1$)	1.696	1.381	2.301	-225.81	11	473.622	45	M	
	Matérn ($k=2$)	1.564	1.499	1.499	-225.88	11	473.762	49	M	

Em que: P: Proporção de efeito pepita= (efeito pepita/variação)*100; C: Classe de dependência espacial; F: Fraca, M: Moderada.

3.2 Incremento em altura e em diâmetro de *Pseudobombax campestre*

Os dados de incremento em diâmetro aos oito e doze meses das mudas de *P. campestre* foram submetidos à transformação Log (x) quando não apresentavam a normalidade de resíduos e homogeneidade de variâncias.

Para valores negativos ou incremento igual a zero para alguma das variáveis mensuradas, estes foram removidos por causar desvios nas análises, contudo tais exclusões não prejudicaram as interpretações, pois foram menor que 50% dos dados inerentes a cada tratamento em todos os períodos avaliados.

Para todas as avaliações realizadas as variáveis incremento em altura e em diâmetro não apresentaram diferenças significativas entre os espaçamentos avaliados (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância do incremento em altura e em diâmetro das mudas de *P. campestre* em todos os períodos avaliados

Fonte de variação	Incremento					
	Altura (cm)			Diâmetro (mm)		
	4 meses	8 meses	12 meses	4 meses	8 meses	12 meses
	QM	QM	QM	QM	QM	QM
Espaçamentos	19,9 ^{ns}	240,9 ^{ns}	248,4 ^{ns}	5,83 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,31 ^{ns}
Resíduo	11,4	172,3	416,8	3,98	0,36	0,41
CV _{exp} (%)	78,6	50,0	60,0	68,5	30,4	24,5

^{ns}Não significativo a 5% de significância pelo teste F. QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação experimental.

O incremento em altura e diâmetro foi crescente ao longo do período avaliado, apresentando uma média geral 34,3 cm e 16,6 mm, respectivamente, aos doze meses após o plantio. Mesmo que a estatística não tenha detectado diferença entre os oito espaçamentos de plantio, vale destacar que os espaçamentos de 2,0, 2,5 e 9,3 m²/planta apresentaram as maiores médias de incremento em altura. Enquanto que os maiores valores médios de incremento em diâmetro ocorreram nos espaçamentos de 2,0 e 4,8 m²/planta (Figura 4).

Pode-se observar ao comparar a avaliação de oito meses após o replantio, com a de quatro meses que houve um elevado incremento em altura e em diâmetro, principalmente em altura. Esse fato pode estar associado ao uso da irrigação, que nos primeiros meses pode ter sido mais influente no estabelecimento das mudas, que no crescimento das mesmas. Já o elevado incremento em diâmetro observado aos 12 meses após o replantio, quando comparado com o incremento aos oito meses, pode estar associado à ocorrência do período chuvoso, além de neste período os indivíduos já apresentarem maior arquitetura foliar e, portanto, maior área fotossintetizante. Esses fatores podem ter contribuído para a maior assimilação de água e nutrientes e conseqüentemente maior crescimento.

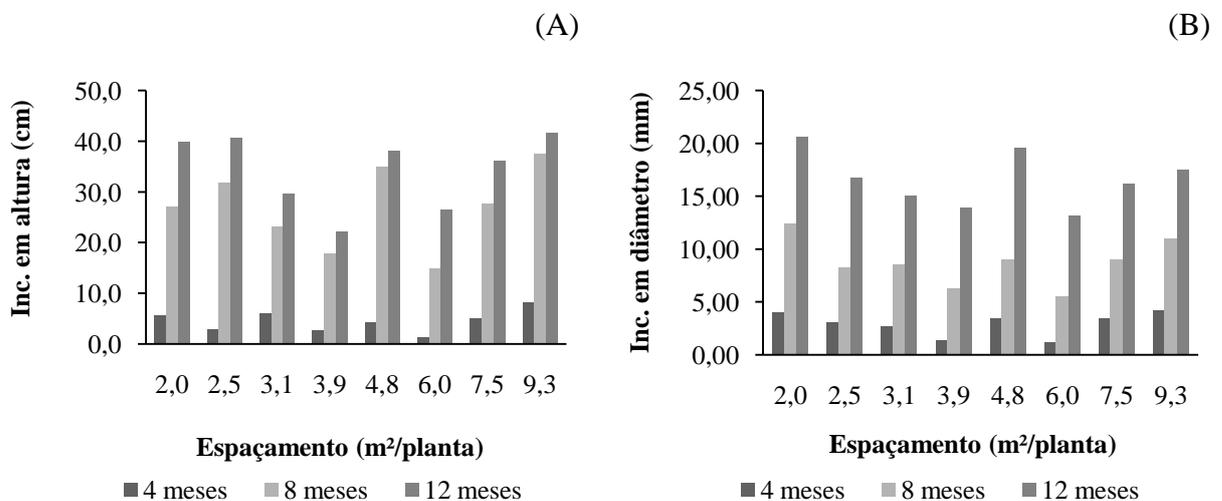


Figura 4. Valores médios de incremento (Inc.) em altura (A) e em diâmetro (B) dos indivíduos de *Pseudobombax campestre* aos quatro, oito e doze meses após o replantio em uma pilha de estéril de minério de ferro em Conceição do Mato Dentro, MG.

A partir dos resultados de incremento em altura e em diâmetro avaliado para *P. campestre* ficou claro o potencial de utilização dessa espécie em recuperação de campos ferruginosos, uma vez que tanto altura quanto diâmetro foram considerados satisfatórios no ambiente em restauração. Segundo Pinto Junior et al. (2011) *P. campestre* favorece a ocorrência de outras espécies provavelmente por contribuir para a melhoria das condições de

germinação, estabelecimento e/ou crescimento de outras espécies vegetais ao reter matéria orgânica entre suas raízes e amenizar a exposição da radiação solar, sendo este último exercido por sua ampla copa, como já apresentada por alguns indivíduos neste trabalho, proporcionando sombreamento na área do plantio.

Jacobi et al. (2008) ao estudar uma comunidade sobre canga relatou a importância de algumas espécies de maior porte, como as arbustivas *Mimosa calodendron*, *Lychnophora pinaster* e *Stachytarpheta glabra*, que foram frequentemente encontradas em associação com plântulas de outras espécies, principalmente orquídeas proporcionando melhoria nas condições ambientais. Plantas com essa função facilitadora na comunidade recebem o nome de plantas-berçário (*nurse plants*). Pesquisas recentes sobre a utilização de plantas-berçário na restauração de ambientes degradados demonstraram as vantagens desses serviços ecológicos, com efeitos positivos na comunidade, como a otimização da sucessão vegetal (CASTRO et al., 2002; PADILLA & PUGNAIRE, 2006).

Além disso, algumas espécies do gênero *Pseudobombax* são indicadas para o reflorestamento de Áreas de Preservação Permanente, devido ao seu rápido crescimento, geralmente estando presente nos estágios iniciais da regeneração florestal (LORENZI, 2002a, 2002b). Sendo o crescimento rápido, característica desejável para acelerar o processo de sucessão em áreas degradadas.

O curto período de avaliação pode não ter sido suficiente para que o efeito dos espaçamentos se expressarem, sugerindo a necessidade de uma série mais longa de dados nesse tipo de avaliação.

3.1 Sobrevivência de *Vellozia ramosissima* e *Pseudobombax campestre*

Foi realizado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, para os dados de sobrevivência que não apresentaram normalidade dos resíduos, mesmo após serem submetidos à transformações.

A espécie *V. ramosissima* apresentou valores médios acima de 80% de sobrevivência em todos os tratamentos nas duas avaliações realizadas (Figura 5A). Valores similares foram observados por Rezende (2010) na reintrodução de espécies da família Velloziaceae em uma pilha de estéril, onde os índices de sobrevivência foram maiores que 70%, corroborando com os resultados deste trabalho, indicando que as espécies de Velloziaceae têm boa adaptabilidade quando introduzidas a ambientes degradados semelhantes aos deste estudo.

Os espaçamentos avaliados até o momento exerceram a mesma influência sobre a sobrevivência, pois não houve diferença significativa entre eles (Tabela 5).

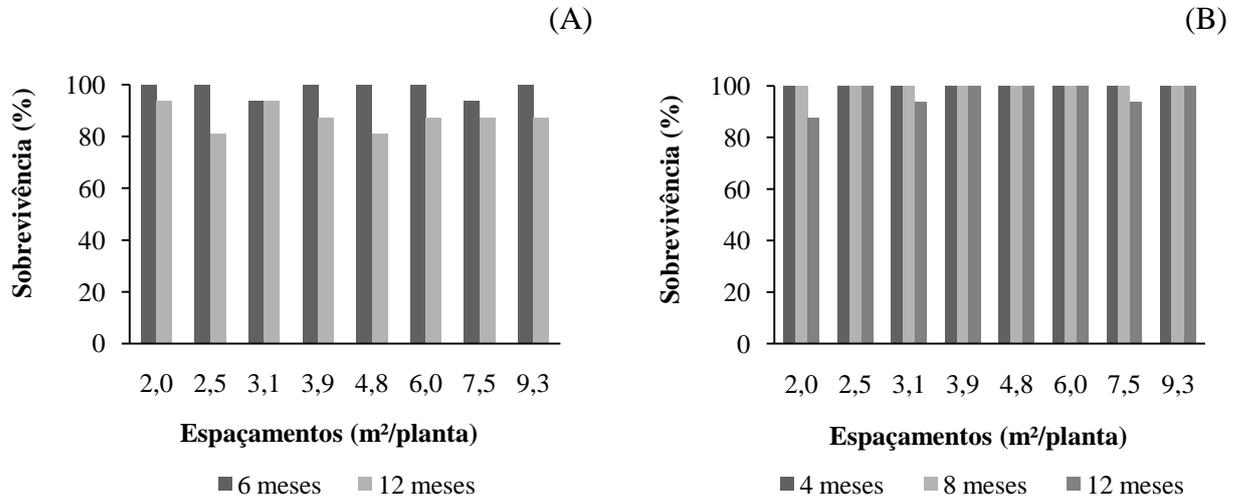


Figura 5. Valores médios de sobrevivência dos indivíduos de *Vellozia ramosissima* aos seis e doze meses (A) e de *Pseudobombax campestre* aos quatro, oito e doze meses (B), após o replantio em uma pilha de estéril de minério de ferro em Conceição do Mato Dentro, MG.

Tabela 5. Resultados do teste não-paramétrico da sobrevivência das mudas de *Vellozia ramosissima* aos 6 e 12 meses e *Pseudobombax campestre* aos 12 meses

Estatística	Sobrevivência		
	<i>V. ramosissima</i>		<i>P. campestre</i>
	6 meses	12 meses	12 meses
H	6,2	3,5	5,4
p	0,5166 ^{ns}	0,8324 ^{ns}	0,6173 ^{ns}

Em que: H:estatística de Kruskal-Wallis;^{ns}Não significativo a 5% de significância pelo teste Kruskal-Wallis; p: probabilidade

Aos quatro e oito meses após o plantio *P. campestre* apresentou 100% de sobrevivência em todos os espaçamentos avaliados. Portanto, não foi necessário realizar a análise de variância para estes períodos. Os espaçamentos de 2,5, 3,9, 4,8, 6,0 e 9,3 m²/planta permaneceram com 100% de sobrevivência aos 12 meses após o plantio (Figura 5B). Porém, não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 5).

As elevadas taxas de sobrevivência para as duas espécies revelam a capacidade adaptativa ao serem reintroduzidas com a finalidade de restauração de áreas degradadas nas condições estudadas.

As plantas de campo rupestre ferruginoso possuem adaptações fisiológicas, morfológicas e reprodutivas típicas de afloramentos rochosos *lato sensu*, como esclerofilia, reprodução clonal e poiquiloidria, ou seja, a capacidade de resistir a ciclos de dessecação e

reidratação (GIULIETTI et al., 1987). Essa capacidade foi constatada para *Vellozia ramosissima* que apresentou no período seco folhas amarelas e no período chuvoso folhas bem verdes e vistosas.

As espécies da flora dos campos ferruginosos apresentam uma característica que exige tratamento especial de plantio, que é a sua relação de especificidade com o substrato colonizado, rico em metais, pobre nos demais nutrientes e sujeito a grandes variações climáticas (SILVA, 2012), sendo assim, possuem adaptações para se estabelecer em um substrato rico em metais pesados (PORTO & SILVA, 1989; TEIXEIRA & LEMOS FILHO, 1998). As características dos atributos químicos do substrato de canga utilizado neste experimento, destacando os elevados teores de ferro, aliado às boas condições das mudas transplantadas, corroboram com essa afirmação.

De maneira geral, o substrato apresentou elevada acidez e com saturação de bases inferior a 50% (distróficos). A textura foi predominantemente arenosa, na qual há uma tendência do material em reduzir sua capacidade de retenção de água. O valor de pH abaixo de 5,1, conforme encontrado, é considerado muito baixo, segundo a interpretação de Alvarez et al. (1999), sendo que o pH restringe o crescimento das plantas. Porém, os solos sobre as formações ferríferas, em geral são rasos, ácidos, de baixa fertilidade, com baixa capacidade de retenção de água e com alta concentração de ferro oxidado (CARVALHO FILHO, 2008; SCHAEFER et al., 2008).

Esse resultado sugere que as espécies plantadas na área em estudo possuem algum mecanismo que faz com que elas sejam tolerantes a tais condições do substrato, corroborando para o uso de substrato do *topsoil* de formações ferríferas na recuperação de pilha de estéril de canga ferruginosa, favorecendo a introdução das mudas resgatadas, proporcionando condições especiais para o estabelecimento e sobrevivência.

Vale destacar que algumas espécies da família Velloziaceae, quando adultas, chegam a atingir 3m de altura, pois crescem 1 cm ao ano, o que evidencia o longo tempo exigido para seu estabelecimento numa comunidade. Sendo a maioria das espécies restritas aos ambientes rochosos, algumas delas mais frequentes nas formações ferríferas, verifica-se o quanto são importantes as medidas que visam compatibilizar a extração do minério de ferro com a conservação dessa vegetação tão especial (SANTOS, 2010).

As elevadas taxas de sobrevivência das duas espécies avaliadas, o desenvolvimento e vigor de *Pseudobombax campestre* indicam que a operação de resgate de flora com posterior reintrodução dos indivíduos em áreas com aplicação de *topsoil* constitui

uma estratégia eficaz de conservação e restauração ambiental de áreas degradadas pela mineração de ferro.

3.4 Uso do plantio em Leque na restauração de áreas degradadas

Em relação ao potencial de uso do modelo de plantio Leque, com o objetivo de estudar o espaçamento, destaca-se que em uma área de menos de 2000 m² foi possível testar oito espaçamentos diferentes para duas espécies. Assim como Stape & Binkley (2010) indicam favorável a utilização do delineamento em leque pela menor ocupação de espaço no campo quando comparado com o método de plantio em linhas.

Vale destacar outra vantagem ao utilizar-se do modelo de plantio Leque, essa está relacionada à quantidade de mudas necessárias para aplicação do mesmo. Para replicar este trabalho no modelo de plantio em linhas seria necessário plantar 284,5 % de mudas a mais que a quantidade utilizada no plantio Leque. Esse valor se deve à quantidade de mudas utilizadas como bordadura, que no modelo em linhas é substancialmente maior.

Além disso, Moraes et al. (2013) relatam que o mesmo pode ser sugerido quando se tem a finalidade de estimar a variação genética e conhecer os padrões de resposta aos espaçamentos de espécie florestal (uma população), numa amplitude que dificilmente seria avaliada via delineamentos aleatórios tradicionais.

4 CONCLUSÕES

Os espaçamentos de plantio testados não apresentaram diferenças significativas para o incremento em altura e em diâmetro de *Pseudobombax campestre*, assim como para a sobrevivência de *Pseudobombax campestre* e *Vellozia ramosissima*.

REFERÊNCIAS

AKAIKE, H. Information measures and model selection. **International Statistical Institute**, v.44, p.277-291, 1983.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 25-32.

- ARAÚJO, L.C.; PEREIRA, I.M.; CARVALHO, T.F.; MARQUES, I. C.; SILVA, N.F. Sobrevivência de cinco espécies do cerrado aos 12 meses após o plantio em uma cascalheira no Parque Estadual do Biribiri em Diamantina, MG. **MG. Biota**, Belo Horizonte, v.7, n.3, out./dez., 2014.
- BARROS, F.; LOURENÇO, R.A. Synopsis of the Brazilian orchid genus *Grobya*, with the description of two new species. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v.145, p.119-127, 2004.
- BARTLETT, M.S. Properties of sufficiency and statistical tests. **Proceedings of the Royal Society of London**, serie A, London, v.160, p.268-282, 1937.
- BERGER, R.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G.; HASELEIN, C.R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12, n.2, p.75-87, 2002.
- BLEASDALE, J.K.A. **Systematic designs for spacing experiments**. Experimental Agriculture, n.3: p.73-85, 1966.
- BOX, G. E. P.; COX, D. R. An Analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society**, New York, v.26, n.2, p.211-252, 1964.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1.501-1.511, 1994.
- CARVALHO FILHO, A. **Solos e ambientes do Quadrilátero Ferrífero (MG) e aptidão silvicultural dos tabuleiros costeiros**. 2008. 245p (Tese de doutorado em ciência do solo). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.
- CASTRO, J.; ZAMORA, R.; HÓDAR, J. A.; GÓMEZ, J. M. Use of shrubs as nurse plants: a new technique for reforestation in Mediterranean mountains. **Restoration Ecology**, v.10, n.2, p.297-305, 2002.
- FERREIRA, E. B., CAVALCANTI, P. P., NOGUEIRA, D. A. (2013). ExpDes.pt: Experimental Designs package (Portuguese). R package version 1.1.2.

FREEMAN, G.H. The use of systematic design for a spacing trial with a tropical tree crop. **Biometrics**, n.20, p.200-203, 1964.

GANDOLFI, S.; BELLOTTO, A.; RODRIGUES, R.R. Fase 7: Inserção do conceito de grupos funcionais na restauração, baseada no conhecimento da biologia das espécies. In: RODRIGUES, R.R.; BRANCALION, P.H.S.; ISERNHAGEN, I. (Ed.) **Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: LERF / ESALQ / Instituto Bioatlântica, 2009, p.62-77.

GIULIETTI, A. M.; HARLEY, R. M.; DE QUEIROZ, L. P.; WANDERLEY, M. G. L.; VANDENBERG, C. 2005. Biodiversity and conservation of plants in Brazil. **Conservation Biology**, v.19, p632-639.

GIULIETTI, A. M.; MENEZES, N. L.; PIRANI, J. R.; MEGURO, M.; WANDERLEY, M. G. L. Flora da Serra do Cipó: caracterização e lista de espécies. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo**, São Paulo, v. 9, p. 1-151. 1987.

GIULIETTI, A. M.; PIRANI, J. R. Patterns of geographic distribution of some plant species from the Espinhaço Range, Minas Gerais and Bahia, Brazil. In: VANZOLINI, P. E. & HEYER, W. R. (Eds.), **Proceedings of a Workshop on Neotropical Distribution Patterns**. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro (pp. 39-69), 1988.

HUXLEY, P.A. Systematic designs for field experimentation with multi purpose trees. **Agroforestry Systems**, n.3, p.197-207, 1985.

JACOBI, C.M.; CARMO, F.F. The Contribution of Ironstone Outcrops to Plant Diversity in the Iron Quadrangle, a Threatened Brazilian Landscape. **AMBIO**, v.37, n.4, p.324-326, 2008.

JACOBI, C.M.; 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.

LIMA Y.B.C.; DURIGAN G.; SOUZA F.M. Germinação de 15 espécies vegetais do cerrado sob diferentes condições de luz. **Bioscience Journal**, v.30, n.6, p.864-1872, 2014.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. vol.1. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum: 4º ed. 384p. 2002a.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. vol. 2. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum 2º ed. 384p. 2002b.

MELLO-SILVA, R.; SANTOS, D.Y. A. C.; SALATINO, M.L.F.; MOTTA, L. B., CATTAL; M.B., SASAKI, D., LOVO, J.; PITA, P.B., ROCINI, C.; RODRIGUES, C.D.N., ZARREI, M.; CHASE, M.W. Five vicarious genera from Gondwana: the Velloziaceae as shown by molecules and morphology. **Annals of Botany**, v.108, p.87-102, 2011.

MIRANDA, G. N. S. 2013. **Transformação de box-cox e escores de blom para correção da heterogeneidade de variância do peso de bovinos**. 68p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MORAES, M.A. ; MORAES, S.M.B ; SILVA, E.C.B. ; KUBOTA, T. Y. K. ; SILVA, A.M. ; RESENDE, M.D.V. ; MORAES, M.L.T. Variação Genética em progênies de *Jacaranda cuspidifolia* Mart. utilizando o delineamento sistemático tipo leque. **Scientia Forestalis** (IPEF), v. 41, p. 175-183, 2013.

NAMKOONG, G. Application of Nelder's designs in tree improvement research. In: SOUTHERN CONFERENCE ON FOREST TREE IMPROVEMENT, 8., Savannah, 1965. **Proceedings...** Macon, SCFTI, 1966. p.24-37.

NELDER, J.A. New kinds of systematic designs for spacing experiments. **Biometrics**, n.18, p.283-307, 1962.

ODA-SOUZA, M.; BARBIN, D.; RIBEIRO JÚNIOR, P.J.; STAPE, J.L. Aplicação de métodos geoestatísticos para identificação de dependência espacial na análise de dados de um ensaio de espaçamento florestal em delineamento sistemático tipo leque. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.3, p.499-509, 2008

PADILLA, F. M.; PUGNAIRE, F. I. The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v.4, n.4, p.196-202, 2006.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P.J. **geoR**: Analysis of Geostatistical Data. R package version 1.7-5.1. 2015.

PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; LOPES, L.R.; MARQUES, S. Sistema de plantio adensado para revegetação de áreas degradadas da Mata Atlântica: bases ecológicas e comparações de estudo / benefício com o sistema tradicional. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.4, p.30-41, 1997.

PINTO JUNIOR, H.V.; PEREIRA, M.C.A.; COUTO, D.R.A influência de *Pseudobombax campestre* (Mart. & Zucc.) A. Robyns (Malvaceae) na estrutura e composição florística de

uma comunidade rupícola, Pedra de Pontões, Mimoso do Sul, ES. In: **Anais do X Congresso de Ecologia do Brasil**. São Lourenço, 2011.

PORTO, M. L.; SILVA, M. F. F. Tipos de vegetação metalófila em áreas da Serra dos Carajás e de Minas Gerais, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.3, n.1, p.13-21, 1989.

RAPINI, A.; RIBEIRO, P.L.; LAMBERT, S.; PIRANI, J. R. A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. **Megadiversidade**, v.4, p.16–24, 2008.

R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>. Acesso: 10/08/2015.

REIS, G.G.; REIS, M.G.F. Competição por luz, água e nutrientes em povoamentos florestais. In: **Anais do Simpósio brasileiro de pesquisa florestal**, 1., 1993, Belo Horizonte. Viçosa: SIF/UFV, 1993. p.161-173.

REZENDE, L.A.L. **Reabilitação de campos ferruginosos degradados pela atividade minerária no Quadrilátero Ferrífero**. 2010. 63p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SANTOS, L.M. **Restauração de campos ferruginosos mediante resgate de flora e uso de topsoil no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais**. 2010. 128p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

SCHAEFER, C. E. R.; MICHEL, R. F. M.; CHAGAS, C. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; VALENTE, E. L.; SOUZA, E.; VASCONCELOS, B. N. F. ; RIBEIRO, A. S. S. **Relatório do levantamento pedológico, geomorfológico e geológico para o Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra do Cipó e APA Morro da Pedreira**. Viçosa: UFV/DPS, 2008.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v.52, p.591–611, 1965.

SOBRINHO, J.G.C. **O gênero Pseudobombax Dugand (Malvaceae.L.) no Estado da Bahia, Brasil**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia. 158p. 2006.

STAPE, J. L. **Utilização de delineamento sistemático tipo *leque* no estudo de espaçamentos florestais**. 1995. 86f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1995.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D. Insights from full-rotation Nelder spacing trials with *Eucalyptus* in São Paulo, Brazil, **Southern Forests**,. Pretoria, v. 72, n. 2, p. 90–97, 2010.

TEIXEIRA, W. A.; LEMOS FILHO, J. P. Metais pesados em folhas de espécies lenhosas colonizadoras de uma área de mineração de ferro em Itabirito, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.22, n.3, p.381-387, 1998.

WRIGHT, H. L. Experiments as a source of data for growth models. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 16, Oslo, 1976. **Proceedings...**, Oslo: IUFRO, v.1, p.60-73, 1976.

CAPÍTULO 3: REGENERAÇÃO NATURAL EM *TOPSOIL* APLICADO NA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DE UMA PILHA DE ESTÉRIL DE CANGA FERRUGINOSA

RESUMO

A utilização da técnica de transposição de *topsoil* tem sido determinante na obtenção da sustentabilidade das áreas em processo de restauração, uma vez que proporciona condições físicas, químicas e microbiológicas favoráveis ao estabelecimento das espécies do seu banco de sementes. O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial do uso de “*topsoil*” associado à canga ferruginosa, como alternativa na recomposição da cobertura vegetal de uma pilha estéril de canga ferruginosa. A comunidade regenerante foi amostrada aos 10 e 18 meses, após a deposição do *topsoil*. Assim, determinou-se a composição e diversidade florística, densidade de plantas, além de avaliar a dinâmica de populações e cobertura do solo. A cobertura vegetal desenvolvida sobre o *topsoil*, ao final dos dois períodos avaliados apresentou um total de 19.485 indivíduos pertencentes a 26 famílias com 76 espécies e seis morfoespécies. As famílias com maior número de espécies foram Asteraceae (16), seguida de Fabaceae (11) e Poaceae (8). A cobertura média do solo na área experimental foi de 58% aos 18 meses. A utilização do *topsoil* mostrou-se como uma técnica promissora e de extrema importância na indução da restauração da pilha de estéril de canga ferruginosa, uma vez que proporcionou a regeneração natural, recomposição da vegetação com espécies autóctones, crescimento satisfatório dos indivíduos e rápida cobertura do solo, ao longo do período avaliado.

Palavras-chave: Camada superficial do solo. Mineração. Campo rupestre ferruginoso.

ABSTRACT

The use of topsoil transposition technique has been decisive in achieving sustainability of areas in restoration process, since it provides physical, chemical, and microbiological favorable conditions to the establishment of the species in the seed bank. The aim of this study was to evaluate the potential use of "topsoil" associated with ferruginous yoke, as an alternative in the vegetation cover restoration of a waste pile of ferruginous yoke. The regenerating community was sampled in the 10th and 18th months after the deposit of topsoil. Therefore, we determined the plant density, the composition and the floristic diversity, and we also evaluated the dynamics of populations and soil coverage. The vegetation provided by the topsoil by the end of the studied period showed a total of 19,485 individuals which belong to 26 families with 82 species and six morphospecies. The families with the highest number of species were Asteraceae (16), followed by Fabaceae (11), and Poaceae (8). The average coverage of the soil in the experimental area was 58% after 18 months. The use of topsoil was shown as a promising and extremely important technique in inducing the restoration of the waste pile of ferruginous yoke, once it provided natural regeneration, vegetation restoration with native species, satisfactory growth of individuals, and quick soil coverage over the studied period.

Keywords: Topsoil. Mining. Ferruginous rupestrian field.

1 INTRODUÇÃO

Nas duas últimas décadas, tem aumentado o interesse de pesquisadores e empresas dos setores de mineração, geração de energia e florestal na busca de novas alternativas de recuperação de áreas degradadas num contexto ecológico. Assim, a restauração ecológica tem enfatizando a recomposição da diversidade de espécies e a sustentabilidade dos ecossistemas recuperados (RODRIGUES et al., 2010).

Um aspecto fundamental na recuperação de áreas degradadas em decorrência da mineração é o conhecimento do solo ou do substrato, onde essa recuperação deverá ser conduzida. Os procedimentos específicos na recuperação dessas áreas dependem essencialmente das propriedades físicas, químicas, biológicas e mineralógicas do solo ou substrato, que deverá apresentar condições adequadas para o desenvolvimento das plantas (FONTES, 1991).

Dentro desse contexto, a utilização do *topsoil* pode ser determinante para o sucesso do processo de revegetação de áreas mineradas e pilhas de rejeito e estéril, visto que estas áreas, normalmente, apresentam severas limitações químicas (baixa fertilidade etc.) e físicas (alta resistência à penetração de raízes etc.) para o estabelecimento das plantas (SILVA et al., 2004; DIAS et al., 2007).

Assim, dentre os métodos de recuperação existentes, um amplamente utilizado em áreas de mineração, e que está relacionado diretamente à melhoria na qualidade do solo é a transposição de *topsoil*, que consiste na reposição da camada superficial do solo no ambiente degradado (BRANQUINHO et al., 2013).

A aplicação do *topsoil* na restauração de áreas de mineração proporciona redução dos custos com produção de mudas e com a recuperação do solo, possibilitando uma maior diversidade florística e genética da restauração, obtidos com espécies locais (HALL et al., 2010), sendo assim pode ser uma alternativa viável para acelerar o processo de sucessão em áreas em que o solo foi degradado (MARTINS et al., 2007). A utilização do *topsoil* permite o aproveitamento do banco de sementes e o favorecimento da regeneração natural. Porém, uma relevante lacuna diz respeito ao desconhecimento do manejo dos solos típicos das formações ferríferas, tais como os campos rupestres ferruginosos, bem como a inexistência de práticas culturais mais adequadas (REZENDE, 2010).

Sendo assim, diante da dificuldade de recuperação do solo em áreas mineradas, da estreita relação das plantas de campo ferruginoso, com o substrato rico em ferro, além de

poucos dados experimentais que comprovem o desempenho da técnica de uso do *topsoil* nesse ecossistema e especificamente na região do estudo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial do uso da camada superficial de solo “*topsoil*”, associado à canga ferruginosa como alternativa na recomposição da cobertura vegetal de uma pilha de estéril de mineração de ferro.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área do experimento

A área de estudo é o topo de uma pilha de estéril de canga ferruginosa que foi confeccionada no ano de 2010, pertencente à empresa de mineração *Anglo American*, com sede no município de Conceição do Mato Dentro (MG), situado na borda leste da Serra do Espinhaço Meridional. A área situa-se nas coordenadas $18^{\circ}53'09,6''\text{S}$ e $43^{\circ}25'01,2''\text{W}$ com altitude média de 701 metros (Figura 1). O clima da região é classificado como subtropical úmido, Cwa na classificação de Köppen, apresentando temperatura média anual de 20°C e precipitação média anual de 1.727,7 mm.



Figura 1. Área experimental sobre uma pilha de estéril de minério de ferro em Conceição do Mato Dentro, MG (Word View - Anglo American, 2013).

2.2 Instalação do experimento

Em setembro de 2013, foi depositada sobre a área experimental, com auxílio de máquinas, uma camada de *topsoil* associado à canga ferruginosa de aproximadamente 1m de altura, proveniente de áreas de campo rupestre ferruginoso, em que houve supressão da vegetação para instalação da cava, sendo que as áreas de coleta e deposição do *topsoil* distam de 2600 m. Juntamente a esse material, caules secos de indivíduos da família Velloziaceae foram espalhados sobre a área, como fonte de matéria orgânica.

A área do experimento possui forma circular composta por 1964 m², que foi dividida por 36 raios. Esses raios correspondem às linhas de plantio no modelo de Leque (NELDER, 1962) de duas espécies resgatadas de campo rupestre ferruginoso, pertencente a outro experimento. Sendo assim, as seções circulares compreendidas entre as linhas de plantio são as parcelas que possuem 54 m² cada.

O plantio de *Vellozia ramosissima* e *Pseudobombax campestre* sobre a área de deposição do *topsoil* foi realizado em dezembro de 2013 e janeiro de 2014. Em virtude dos baixos índices pluviométricos ocorridos após o plantio, foi necessário o uso de um sistema de irrigação, instalado em maio de 2014. A utilização da irrigação foi feita de acordo com a disponibilidade da empresa, em média, duas vezes por semana, por seis meses.

2.3 Caracterização do substrato

Para caracterizar o substrato foram realizadas análises físico-químicas, após 12 meses da instalação do experimento, assim foram coletadas aleatoriamente na área experimental quatorze amostras simples para formar duas amostras compostas (300 cm³) nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. As análises das amostras foram realizadas no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, segundo o protocolo da Embrapa (1997).

Tabela 1. Características químicas e físicas de amostras de substrato de canga ferruginosa nas camadas de 0-10 e 10-20 cm na área do experimento de *topsoil* em uma pilha de estéril de minério de ferro em Conceição do Mato Dentro, MG

Atributo	Unidade	Profundidade			
		0-10 cm		10-20 cm	
		média	desvio	média	desvio
pH⁽¹⁾		4,9	0,3	4,5	0,2
P⁽²⁾	mg/dm ³	36,2	47,2	46,5	61,6
K⁽²⁾	mg/dm ³	42,0	9,9	52,5	2,1
Ca²⁺⁽³⁾	cmolc/dm ³	2,0	0,7	2,5	1,1
Mg²⁺⁽³⁾	cmolc/dm ³	0,3	0,0	0,3	0,0
Al³⁺⁽³⁾	cmolc/dm ³	0,6	0,5	0,6	0,4
H + Al⁽⁴⁾	cmolc/dm ³	9,5	1,8	11,6	2,1
SB	cmolc/dm ³	2,4	0,7	2,9	1,1
t	cmolc/dm ³	2,9	0,2	3,5	0,7
T	cmolc/dm ³	11,8	1,1	14,5	1,0
Cu⁽²⁾	mg/dm ³	0,5	0,0	0,5	0,1
Mn⁽²⁾	mg/dm ³	22,5	2,8	19,3	0,8
Fe⁽²⁾	mg/dm ³	194,2	66,5	252,3	133,4
Zn⁽²⁾	mg/dm ³	1,8	0,2	1,7	0,0
V	%	20,6	7,4	20,5	9,0
m	%	19,2	17,8	18,6	15,6
P-Rem	mg/L	34,9	8,1	31,7	9,5
Areia grossa	kg/kg	0,50	0,05	0,51	0,02
Areia fina	kg/kg	0,13	0,04	0,13	0,01
Silte	kg/kg	0,21	0,06	0,18	0,03
Argila	kg/kg	0,16	0,04	0,18	0,04
Equivalente de umidade	kg/kg	0,14	0,00	0,15	0,01

⁽¹⁾pH em água relação 1:2,5; ⁽²⁾Extrator Mehlich-1; ⁽³⁾ Extrator KCl 1,0 mol /L ; ⁽⁴⁾ Extrator acetato de cálcio 0,5 mol/ L - pH =7,0

2.4 Amostragem da comunidade regenerante

Foi realizado um censo de todos os indivíduos da comunidade arbustivo-arbórea regenerante com altura maior que 10 cm, presentes no interior das parcelas (Figura 2).

Para a avaliação da vegetação herbácea, subarbusativa e lianas, e ainda para estimar a porcentagem de cobertura vegetal desenvolvida sobre o *topsoil*, utilizou-se o método da escala de Braun-Blanquet (1979). De forma sistemática, foram lançadas no interior das parcelas seis sub-parcelas de 1 x 1m, espaçadas entre si 2 m, de modo a representar toda a área da parcela, sendo que todos os indivíduos existentes no interior de cada subparcela foram identificados e contados. Para essa avaliação foi utilizado um gabarito quadrado feito de vergalhão medindo 1 x 1m, subdividido em 16 quadrados de 0,25 x 0,25 m. O grau de

cobertura do solo foi estimado visualmente em cada uma das subparcelas, onde a soma das mesmas representam 11% da cobertura total da parcela. As plantas herbáceas, subarborescentes e lianas que ocorreram dentro da área experimental, porém fora das subparcelas foram identificadas e incluídas na florística da área.

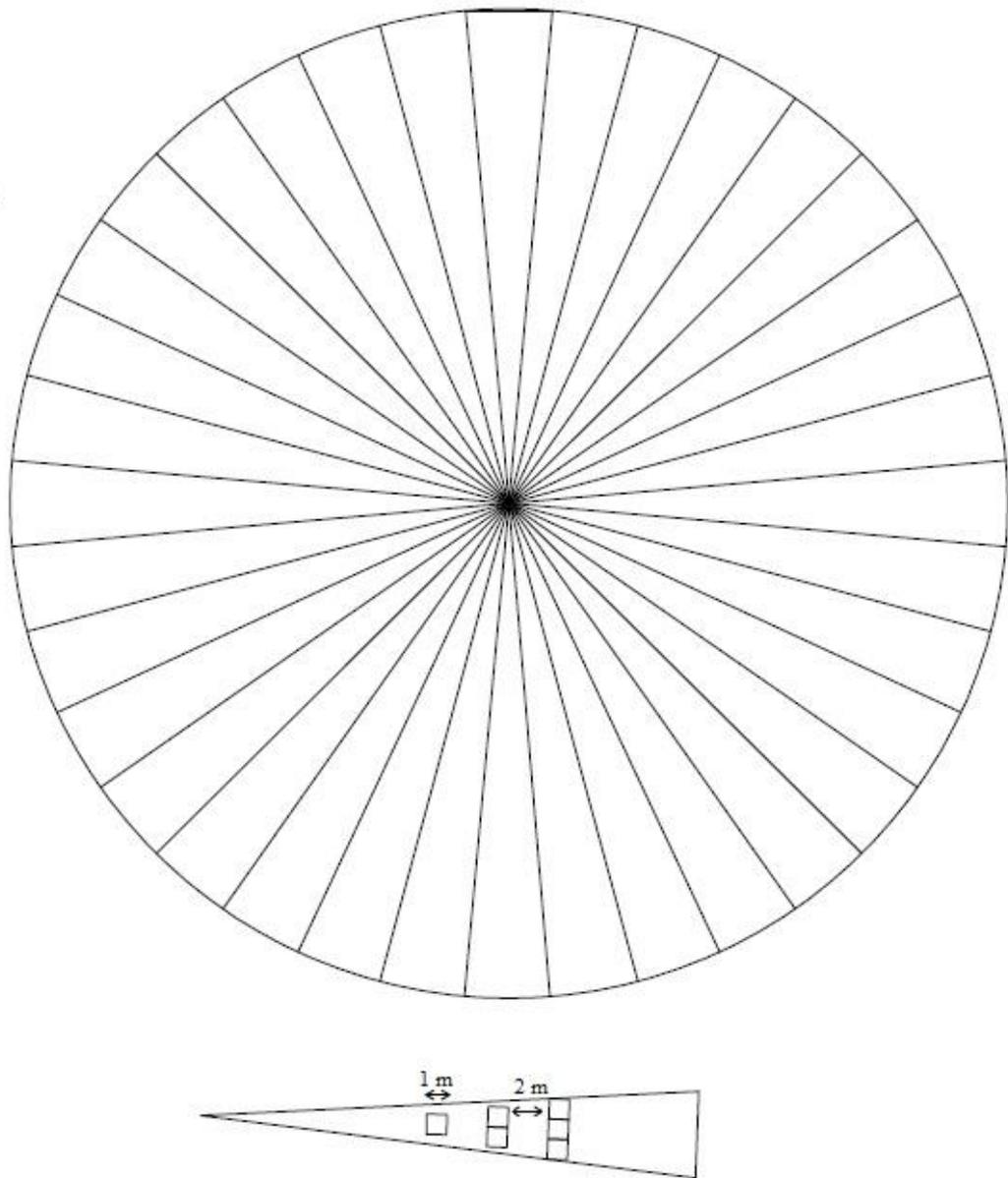


Figura 2. Croqui das parcelas do experimento de *topsoil* em uma pilha de estéril de minério de ferro em Conceição do Mato Dentro, MG

A identificação das espécies foi realizada diretamente no campo, quando possível. Quando esta identificação não foi possível “*in situ*”, os materiais botânicos foram coletados e identificados por meio de literatura, comparação com exsicatas de herbários, consulta a especialistas e registro fotográfico. As espécies foram classificadas em famílias, de

acordo com o sistema Angiosperm Phylogeny Group III (APG III, 2009), e a grafia dos nomes foi confirmada no banco de dados eletrônicos do Missouri Botanical Garden (<http://www.mobot.org/> e <http://www.tropicos.org/>). Duas famílias e seis espécies não foram identificadas pela inexistência de material fértil ou pelo estágio de plântula dos indivíduos, o que dificulta a identificação. Para as espécies identificadas, foi feita a classificação de hábito e síndrome de dispersão.

Foram realizadas duas amostragens dos indivíduos regenerantes, uma no mês maio de 2014, 10 meses após a deposição do *topsoil* e outra no mês de março de 2015, 18 meses após a deposição do *topsoil*.

Foi calculada a densidade de plantas (indivíduos por hectare) para cada espécie e a riqueza de todo o experimento que foi estimada pelo índice de Margalef (Mg), nas duas amostragens.

2.5 Comunidade arbustiva-arbórea

No interior das parcelas foram medidos a altura (cm) e o diâmetro à altura do solo (DAS, em cm) de todos os indivíduos da comunidade arbustivo-arbórea regenerante, com altura maior que 10 cm.

Foi comparada a dinâmica das populações regeneradas, sendo considerada como população as espécies que apresentaram um mínimo de 20 indivíduos. A dinâmica foi analisada mediante comparações de contagens de Poisson entre mortos e ingressos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição florística da comunidade regenerante

A cobertura vegetal desenvolvida sobre toda a área experimental, 10 meses após a deposição do *topsoil*, apresentou um total de 5.710 indivíduos e densidade de 10.121 indivíduos por hectare. Já aos 18 meses, foram registrados 19.485 indivíduos e densidade de 33.524 indivíduos por hectare.

Observa-se que um maior número de indivíduos ocorreu na segunda avaliação, fim da estação chuvosa. Sendo assim, as condições climáticas podem ter auxiliado no aumento na emergência de plântulas. Resultado semelhante foi encontrado por Silva (2012) na restauração de uma cascalheira em Diamantina, MG, por meio do uso de *topsoil*.

Dentre os hábitos encontrados, as lianas, herbáceas e subarbusivas se destacaram com 94% e 97% do total de indivíduos amostrados aos 10 e 18 meses, respectivamente, e apenas 6% e 3% de arbustivas e arbóreas. Esse resultado já era esperado, uma vez que são as espécies predominantes nessas formações (RIBEIRO & WALTER, 2008), possibilitando o restabelecimento das funções originais do ecossistema.

Além disso, a colonização do ambiente realizada pelas espécies herbáceas possui extrema importância na recuperação de áreas, uma vez que essas plantas, além de contribuir com a ciclagem de nutrientes, fornecem condições ecológicas mais favoráveis ao estabelecimento de outras espécies arbustivas e arbóreas, por meio de um modelo sucessional de facilitação (CONNELL & SLATYER, 1977; BRUNO, 2000).

Em todos os hábitos das espécies deste estudo, em média, 40 % das espécies foram classificadas como anemocóricas (Figura 3). A síndrome de dispersão anemocórica é a prevalecente entre as espécies pioneiras (DALLING et al., 1998) que são a maioria nas comunidades regenerantes (JAKOVAC, 2007). Em ambientes abertos e em elevadas altitudes, como nos campos rupestres, esse tipo de dispersão é favorecida, permitindo uma maior disseminação de seus indivíduos, o que pode explicar a predominância de espécies anemocóricas na comunidade regenerante do *topsoil* deste estudo.

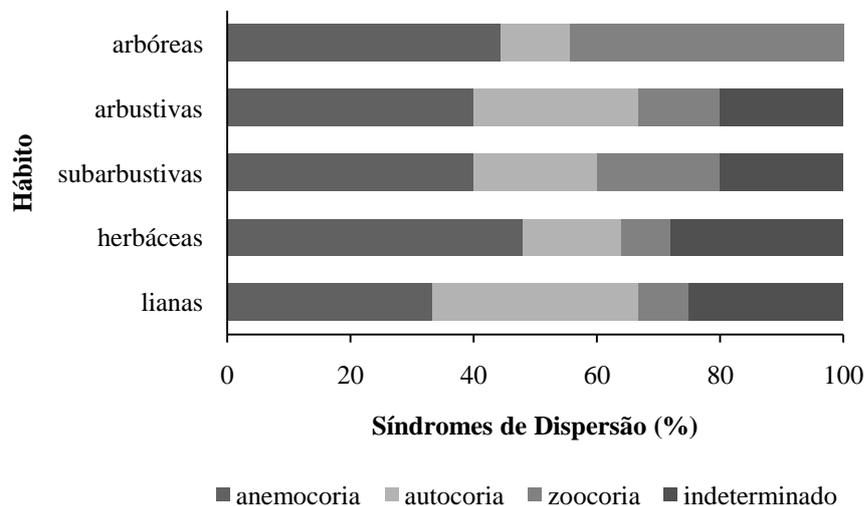


Figura 3. Síndromes de dispersão nos diferentes hábitos das espécies regenerantes do *topsoil* registradas na pilha de estéril de canga ferruginosa no município de Conceição do Mato Dentro, MG.

Mas vale ressaltar que 44% das espécies arbóreas foram classificadas como zoocóricas. Essas espécies em conjunto com outras dos demais hábitos, que apresentam a

zoocoria como síndrome de dispersão, agem como atrativo à fauna (animais polinizadores e dispersores de sementes) estabelecendo o fluxo gênico e, conseqüentemente, aumento da diversidade. Sendo, portanto, as mesmas, de extrema importância na obtenção de sucesso na restauração ecológica, bem como na sustentabilidade dos processos ecológicos da comunidade, pois se faz necessário a existência de interações planta-animal, na qual exerce papel importante na manutenção da biodiversidade (SILVA, 2003).

Foram identificadas aos 10 meses, 50 espécies e duas morfoespécies, distribuídas em 25 famílias. Já aos 18 meses, foi registrada a ocorrência de 69 espécies e seis morfoespécies pertencentes a 26 famílias. No total dos dois períodos avaliados registrou-se 76 espécies pertencentes a 26 famílias e seis morfoespécies. Ao final do período avaliado, as famílias com maior número de espécies foram Asteraceae (16), seguida de Fabaceae (11) e Poaceae (8) (Tabela 2).

A família Asteraceae também foi a mais rica em espécie em outros levantamentos florísticos realizados em áreas de campo rupestre ferruginoso (GIULIETTI et al., 1987; BRANDAO & GAVILANES, 1990; HARLEY, 1995; GUEDES & ORGE, 1998; MOURAO & STEHMANN, 2007; ATAÍDE et al., 2011). Asteraceae também foi uma das famílias mais representativas em trabalhos que avaliaram a aplicação do *topsoil* proveniente de campo rupestre ferruginoso como estratégia de recuperação de áreas degradadas (REZENDE, 2010; SANTOS, 2010; AMARAL, 2013) considerada uma família com ampla variação em suas características desde o hábito herbáceo ao arbóreo e, às vezes, trepadeira (HATTORI & NAKAJIMA, 2008). Fato comprovado nesse estudo em que foram registradas espécies com hábito herbáceo como *Emilia fosbergii*, subarbustivo *Baccharis dracunculifolia*, arbustivo *Lepidaploa rufogrisea*, arbóreo *Eremanthus incanus* e trepadeira *Mikania cf. hirsutissima*.

Tabela 2. Relação das espécies regenerantes do *topsoil* registradas na pilha de estéril de canga ferruginosa no município de Conceição do Mato Dentro, MG

Família	Espécie	H	SD	Densidade (N° ind./ha)	
				10 meses	18 meses
Dennstaedtiaceae	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	herb	ane	139	1065
Annonaceae	<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	arv	zoo	10	15
Asteraceae	<i>Ageratum conyzoides</i> L.	subarb	ane	93	648
	<i>Ageratum fastigiatum</i> (Gardner) R. M. King & H. Rob.	subarb	ane	F	F
	<i>Baccharis calvescens</i> DC.	arb	ane	-	10
	<i>Baccharis dracunculifolia</i> DC.	subarb	ane	-	46
	<i>Chromolaena laevigata</i> (Lam.) R. M. King & H. Rob.	arb	ane	185	324
	<i>Cyrtocymura scorpioides</i> (Lam.) H.Rob.	subarb	ane	-	93
	<i>Emilia fosbergii</i> Nicolson	herb	ane	-	46
	<i>Eremanthus crotonoides</i> (DC.) Sch. Bip.	arv	ane	5	10
	<i>Eremanthus incanus</i> (Less.) Less.	arv	ane	10	20
	<i>Lepidaploa rufogrisea</i> (A.St.-Hil.) H.Rob.	arb	ane	F	F
	<i>Lepidaploa</i> sp	arb	ane	F	F
	<i>Mikania cf. hirsutissima</i> DC.	lia	ane	139	231
	<i>Mikania</i> sp	lia	ane	139	139
	Morfoespécie 2				-
	<i>Porophyllum ruderale</i> (Jacq.) Cass.	herb	ane	-	139
	<i>Vernonanthura phosphorica</i> (Vell.) H.Rob.	arb	ane	1029	1838
Bignoniaceae	<i>Rabidea</i> sp.			5	5
Commelinaceae	<i>Commelina obliqua</i> Vahl	herb		46	46
	<i>Ipomoea</i> sp.	lia	auto	46	93
Cyperaceae	<i>Bulbostylis fimbriata</i> (Nees) C.B. Clarke	herb	auto	833	694

Continua...

Tabela 2. Continuação...

Família	Espécie	H	SD	Densidade (N° ind./ha)	
				10 meses	18 meses
Cyperaceae	<i>Cyperus ferax</i> Rich.	herb	ane	926	648
Euphorbiaceae	<i>Croton erythroxyloides</i> Baill.	arb		51	46
	<i>Croton urucurana</i> Baill.	arv	auto	-	10
	<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	arb	zoo	-	5
	<i>Sebastiania glandulosa</i> Pax	arb	auto	433	677
Fabaceae	<i>Aeschynomene denticulata</i> Rudd	herb	auto	93	185
	<i>Apuleia</i> sp.	arv	ane	15	20
	<i>Centrosema brasilianum</i> (L.) Benth.	lia	auto	648	3102
	<i>Chamaecrista</i> sp.	lia	auto	-	46
	<i>Desmodium barbatum</i> (L.) Benth.	subarb	zoo	-	46
	<i>Galactia martii</i> DC.	lia	auto	93	185
	Morfoespécie 4	lia		231	139
	<i>Senegalia pedicellata</i> (Benth.) Seigler & Ebinger	arb	auto	5	5
	<i>Senna reniformis</i> (G. Don) H. S. Irwin & Barneby	arb	auto	36	71
	<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.	lia		93	463
	<i>Zornia reticulata</i> Sm.	subarb	zoo	-	46
Lamiaceae	<i>Hyptis homalophylla</i> Pohl ex Benth	subarb		46	46
	<i>Hyptis</i> sp			-	46
	<i>Hyptis suaveolens</i> (L.) Poit.	herb	auto	46	509
	Morfoespécie 1			10	10
	<i>Ocimum</i> sp	arb		-	5
	<i>Vitex megapotamica</i> (Spreng.) Moldenke	arv	zoo	31	41
Lythraceae	<i>Cuphea lutescens</i> Pohl ex Koehne	subarb	ane	880	1296

Continua...

Tabela 2. Continuação...

Família	Espécie	H	SD	Densidade (N° ind./ha)	
				10 meses	18 meses
Malpighiaceae	<i>Byrsonima variabilis</i> A. Juss.	arb		20	25
	<i>Diplopterys</i> cf. <i>pubipetala</i> (A. Juss.) W.R. Anderson & C. Davis	lia	ane	-	46
	<i>Heteropterys eglandulosa</i> A. Juss.	lia	ane	F	F
	<i>Peixotoa tomentosa</i> A.Juss.	subarb		-	46
Malvaceae	<i>Sida glaziovii</i> K. Schum.	subarb	auto	324	602
	<i>Sida rhombifolia</i> Mast.	subarb	auto	-	370
	<i>Sida</i> sp.	subarb		93	139
	<i>Sidastrum micranthum</i> (A.St.-Hil.) Fryxell	subarb	auto	-	231
	<i>Waltheria indica</i> L.	subarb	ane	417	370
Melastomataceae	<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana	arb	zoo	5	10
	<i>Tibouchina heteromalla</i> (D. Don) Cogn.	arb	ane	25	46
Phyllanthaceae	<i>Phyllanthus amarus</i> Schumach. & Thonn.	herb		46	46
	<i>Phyllanthus perpusillus</i> Baill.	herb		F	F
Phytolaccaceae	<i>Phytolacca thyrsoflora</i> Fenzl ex J. A. Schmidt	subarb	zoo	F	F
Plantaginaceae	<i>Scoparia dulcis</i> L.	herb	ane	139	278
Poaceae	<i>Andropogon leucostachyus</i> Kunth	herb	ane	93	46
	<i>Andropogon</i> sp	herb	ane	-	46
	<i>Axonopus pressus</i> (Nees ex Steud.) Parodi	herb	ane	185	93
	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	herb	ane	93	185
	<i>Melinis minutiflora</i> P. Beauv.	herb	auto	556	2083
	<i>Paspalum</i> sp.	herb	ane	-	46
	<i>Urochloa decumbens</i> (Stapf) R.D. Webster	herb	ane	-	139
Morfoespécie 3	herb		-	46	

Continua...

Tabela 2. Continuação...

Família	Espécie	H	SD	Densidade (N° ind./ha)	
				10 meses	18 meses
Polygonaceae	<i>Coccoloba scandens</i> Casar.	lia		F	F
Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i> L.	herb	zoo	46	2315
Rubiaceae	<i>Mitracarpus hirtus</i> (L.) DC.	herb		833	880
	<i>Spermacoce latifolia</i> Aubl.	herb		648	1111
	<i>Spermacoce palustris</i> (Cham. & Schltld.) Delprete	herb	ane	46	10741
	<i>Spermacoce</i> sp.	herb		-	139
Rutaceae	<i>Dictyoloma vandellianum</i> A. Juss.	arv	ane	5	10
Solanaceae	<i>Solanum americanum</i> Mill.	herb	zoo	46	-
	<i>Solanum lycocarpum</i> A. St.-Hil.	arv	zoo	51	41
Urticaceae	<i>Cecropia</i> sp.	arv	zoo	5	5
Verbenaceae	<i>Stachytarpheta glabra</i> Cham.	arb	auto	81	87
Vitaceae	<i>Cissus erosa</i> Rich.	lia	zoo	46	46
Indeterminada	Morfoespécie 5			-	46
	Morfoespécie 6			-	46

Em que: H= Hábito, lia=liana, subarb=subarbusto, arb=arbusto, arv= árvore; SD= Síndrome de Dispersão, ane=anemocoria, auto=autocoria, zoo= zoocoria; F= Florística.

Segundo Santos (2010), Fabaceae e Poaceae também apresentam alta riqueza em todos os levantamentos de Campos Rupestres, tanto sobre formações ferríferas quanto quartzíticas. A presença de espécies da família Fabaceae, também conhecidas como leguminosas, são favoráveis à recuperação do solo, por possuírem capacidade de fixação simbiótica do nitrogênio, nutriente importante e pouco disponível em áreas degradadas, essas espécies adicionam esse elemento ao sistema, tornando-o disponível às demais espécies vegetais (FRANCO et al., 1996), contribuindo para o aumento do teor da matéria orgânica, decorrente de seu rápido crescimento, promovendo a recuperação das características físicas, químicas e biológicas do solo (BERTONI et al., 1972; MIYASAKA, 1984).

As espécies da família Poaceae possuem também um rápido crescimento (OLIVA, 2005), o que permitirá uma eficiente cobertura do solo em um curto espaço de tempo (MARQUES et al., 2014); isto ocorre pelo fato dessas espécies formarem um sistema radicular abundante, ampliando assim o efeito rizosférico e facilitando o fluxo de C fotoassimilado para o solo via rizodeposição (CARNEIRO et al., 2008).

As espécies *Vernonanthura phosphorica*, *Cyperus ferax*, *Cuphea lutescens*, *Bulbostylis fimbriata*, *Mitracarpus hirtus*, *Centrosema brasilianum* e *Spermacoce latifolia* apresentaram os maiores valores de densidade aos 10 meses. Já aos 18 meses, *Spermacoce palustris*, *Centrosema brasilianum*, *Portulaca oleraceae*, *Melinis minutiflora*, *Vernonanthura phosphorica*, *Cuphea lutescens* e *Spermacoce latifolia* foram as espécies com as maiores densidades.

No trabalho de Oliveira (2015), que buscou caracterizar as comunidades herbáceo-subarbustivas sobre afloramento quartzítico e ferruginoso de áreas de campo rupestre em áreas vizinhas de onde foi retirado o *topsoil* deste estudo, foram encontradas as espécies *Galactia martii*, *Bulbostylis fimbriata*, *Centrosema brasilianum*, *Lepidaploa rufogrisea*, *Croton erythroxyloides* em áreas com afloramento ferruginoso, e *Tibouchina heteromalla* em afloramento quartzítico. *Centrosema brasilianum* também foi encontrada em levantamento realizado por Ferreira (2014) em área de campo rupestre ferruginoso dessa mesma região. Em outro estudo sobre o componente arbustivo - arbóreo em áreas sob substratos quartzíticos e ferruginosos realizado por Vieira (2015) - também em áreas próximas ao experimento foi verificada a presença de *Eremanthus incanus*, tanto em área de campo rupestre quartzítico quanto ferruginoso e *Xylopia aromatica* no campo rupestre quartzítico. Já *Cuphea lutescens* e *Sebastiania glandulosa* (SANTOS, 2010) foram encontradas em áreas de campo rupestre do quadrilátero ferrífero em Minas Gerais.

Sendo assim, oito espécies presentes neste experimento pertencem à flora que se deseja restaurar, representando 9,8 % das espécies registradas. Porém, cabe ressaltar ainda, que ao analisar os resultados dos trabalhos, acima citados, com os resultados deste, observa-se a presença de muitos gêneros em comum, o que demonstra que pode haver mais espécies semelhantes entre eles. Essa semelhança não foi possível confirmar devido a falta de material fértil para identificação dos indivíduos a nível de espécie.

Vale destacar que as espécies *Centrosema brasilianum*, *Cuphea lutescens*, *Bulbostylis fimbriata* e *Sebastiania glandulosa* - por pertencerem à flora que se deseja restaurar, além da eficiente colonização na área estudo, e ainda por fornecerem proteção ao solo por meio de suas características morfológicas peculiares - podem ser indicadas como potenciais na recomposição de ambientes degradados semelhantes.

No experimento ocorreram espécies exóticas em decorrência de sua presença nas proximidades, *Melinis minutiflora* e *Urochloa decumbens* utilizadas na revegetação dos taludes do entorno da pilha e ainda *Pteridium aquilinum*. Essas espécies devem ser manejadas, considerando que poderão comprometer a regeneração natural. Segundo Flory e Clay (2010), entre os múltiplos fatores que podem afetar o processo de sucessão florestal, incluindo padrões de dispersão de sementes, sobrevivência das mudas e heterogeneidade ambiental, merecem destaque a invasão de plantas exóticas. Essas invasões podem aumentar a competição e alterar as condições abióticas, uma vez que a gramínea exótica invasora pode inibir a regeneração florestal de árvores nativas, afetando a estrutura da comunidade e comprometendo esforços de restauração.

A riqueza de espécies da área em estudo aumentou de uma avaliação para outra (Tabela 3). Este resultado demonstra a importância da aplicação de técnicas de restauração ecológica que buscam cumprir com seu papel de conservação e resgate da biodiversidade, restabelecendo ecossistemas restaurados biologicamente viáveis. Ao se tratar de ecossistema de campo rupestre que apresenta uma alta diversidade alfa e beta e ainda devido às características de suas espécies, como adaptações fisiológicas, morfológicas e reprodutivas típicas de afloramentos rochosos *lato sensu*, e adaptações para se estabelecer em substrato rico em metais pesados (JACOBI & CARMO, 2008), a riqueza de espécies é extremamente importante para restabelecimento das funções do ecossistema.

Tabela 3. Índice de riqueza de Margalef (Mg), Número de espécies (S) e Número de indivíduos (N) presentes aos 10 e 18 meses

Amostragem	Mg	S	N
10 meses	5,89	52	5710
18 meses	7,49	75	19485

As médias de cobertura do solo apresentadas na área total do experimento foram de 21 e 58 % aos 10 e 18 meses, respectivamente. Esse aumento nos valores de cobertura proporciona grande estabilidade aos substratos e à paisagem, exerce melhoria da estrutura, aumento do teor de matéria orgânica e permite a aceleração do processo sucessional (CORRÊA, 2004).

3.2 Comunidade arbustivo-arbórea

Ao final dos 18 meses após a implantação do experimento, observou-se um total de 952 indivíduos pertencente à comunidade arbustivo-arbórea, com uma área basal de 1,06 m² e 5,4 m² por ha. Houve um aumento na amostragem aos 18 meses em relação à de 10 meses nos valores de número de indivíduos (360 e 592), altura média (54,7 e 107,8 cm), assim como diâmetro médio (11,72 e 22,30 mm), além da área basal total (0,060 e 0,100 m²).

A presença de irrigação na área, instalada após oito meses da deposição do material, além do período chuvoso, podem ter contribuído para a germinação de novos indivíduos entre as amostragens, assim como para o crescimento dos indivíduos que nasceram na primeira amostragem.

O substrato de canga, ao ser raspado da área de frente de lavra, foi fragmentado. O que pode ter favorecido o desenvolvimento dos indivíduos, uma vez que possibilitou maior penetração das raízes, conseqüentemente, maior crescimento, ao contrário do ambiente natural que possui em sua maioria ambientes rochosos que apresentam impedimento físico ao crescimento de raízes, resultando em plantas de menor porte.

As populações de *V. phosphorica*, *S. glandulosa* e *S. reniformis* tiveram um crescimento significativo durante o período avaliado (Tabela 4), sendo esse resultado influenciado pela síndrome de dispersão das mesmas, uma vez que a anemocoria e autocoria são síndromes favorecidas por ambientes abertos, que proporcionam maior disseminação dos seus indivíduos.

No geral para as populações estudadas, houve maior número de ingressantes do que de mortos, indicando que há uma maior entrada de indivíduos no sistema em relação à

saída dos mesmos, exceto para *Croton erythroxyloides* e *Maprounea guianensis* que apresentaram maior número de indivíduos mortos que ingressantes.

Tabela 4. Dinâmica de populações de seis espécies arbustivas e arbóreas germinadas do topsoil associado à canga ferruginosa em uma pilha de estéril de minério de ferro em Conceição do Mato Dentro, MG, expressa em número de indivíduos e área basal

Espécie	SD	Nº de indivíduos						Área basal (m ²)	
		Ni 1	Ni 2	Mort	Ing.	Z	p	AB 1	AB 2
<i>Vernonanthura phosphorica</i>	ane	202	361	16	175	11,50	0,001	0,0507	0,6654
<i>Sebastiania glandulosa</i>	auto	85	133	19	67	5,18	0,001	0,0058	0,1856
<i>Vitex megapotamica</i>	zoo	16	17	3	4	0,38	ns	0,0003	0,0067
<i>Croton erythroxyloides</i>		10	9	2	1	0,58	ns	0,0003	0,0038
<i>Maprounea guianensis</i>	zoo	10	8	3	1	1,00	ns	0,0003	0,0007
<i>Senna reniformis</i>	auto	7	14	0	7	2,65	0,010	0,0006	0,0091

Em que: SD = Síndrome de dispersão; Ane = Anemocoria, Auto: Autocoria, Zoo = Zoocoria; Ni1 = número de indivíduos aos 10 meses, Ni2 = número de indivíduos aos 18 meses, Mort = mortos, Rec= recrutadas. Comparações de contagens de Poisson entre Mortos e ingressos: valores de Z e sua significância (p).

A espécie *Vernonanthura phosphorica* apresentou o maior número de indivíduos, representando 59 % da comunidade arbustiva-arbórea da área em estudo. Esta espécie multiplica-se com facilidade em terrenos com pastagens e solos pouco férteis (SOUZA, 2009). Fatores como a existência de áreas de pastagens no entorno da área experimental, dispersão de sementes, realizada pelo vento, e características do substrato corroboraram para uma colonização bem sucedida de *V. phosphorica* na área em estudo.

Sebastiania glandulosa foi a segunda espécie com maior porcentagem de indivíduos (22%), sendo encontrada com grande frequência em ambientes de campo rupestre ferruginoso, o que foi observado por Santos, (2010), que num levantamento fitossociológico na região de Sabará, Minas Gerais, encontrou 142 indivíduos de *S. glandulosa* totalizando 20% da sua amostra. Nesse mesmo trabalho, *S. glandulosa* também foi a espécie mais abundante na comunidade regenerada a partir do uso de *topsoil* associado à canga ferruginosa aos cinco e doze meses, após a deposição do material.

Vale ressaltar que Amaral (2013), ao avaliar a regeneração natural e a cobertura do solo de uma pilha de estéril no período seco e chuvoso a partir da deposição a lanço de *topsoil* proveniente de campo rupestre ferruginoso, conclui que o substrato da pilha de estéril não possui condições favoráveis para o estabelecimento de vegetação, uma vez que a parcela controle (sem *topsoil*) apresentou nas duas amostragens 100% de solo exposto. A área experimental avaliada por essa autora localiza-se imediatamente no entorno da área deste

estudo, sendo, portanto, o substrato de ambos os trabalhos de mesma natureza. Tal conclusão corrobora como subsídio das inferências deste trabalho.

Sendo assim, a utilização do *topsoil* pode ser o diferencial para promover a rápida recolonização da área e aumentar a densidade de indivíduos vegetais, além de servir como substrato para o crescimento das plantas colonizadoras (BRANQUINHO et al., 2013). A camada superior do solo é uma importante fonte de sementes e propágulos e, para algumas plantas, pode ser a única reserva de propágulos, a partir da qual uma espécie pode ser estabelecida nas áreas pós-mineradas (WARD et al. 1996).

A cobertura vegetal desenvolvida na área experimental foi estabelecida por muitas espécies da flora que se deseja restaurar, mostrando-se, portanto, o uso do *topsoil* como uma técnica promissora na recomposição vegetal de pilha de estéril de canga ferruginosa.

4 CONCLUSÃO

A utilização do *topsoil* mostrou-se como uma técnica promissora e de extrema importância na indução da restauração da pilha de estéril de canga ferruginosa, uma vez que proporcionou a regeneração natural, recomposição da vegetação com espécies autóctones, crescimento satisfatório dos indivíduos e rápida cobertura do solo ao longo do período avaliado.

REFERÊNCIAS

AMARAL, L. A. **Estratégia de utilização de topsoil na restauração ambiental**. 2013. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2013.

APG III. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 161, p. 105–121. 2009.

ATAÍDE, E. S.; CASTRO, P. de 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**, Viçosa-MG, v.35, n.6, p.1265-1275, 2011.

BERTONI, J.; PASTANA, F.I.; LOMBARDI NETO, F. & BENATTI Jr., R. **Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo no Instituto Agronômico**. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1972. 56p. (Circular, 20)

BRANDÃO, M. GAVILANES, M. L. Mais uma contribuição para o conhecimento da Cadeia do Espinhaço em Minas Gerais (Serra da Piedade)-II. **Daphne**, Minas Gerais - MG, v.1, n.1 p.26-43, 1990.

BRANQUINHO, F.G.G.; BARBOSA, G. P.; PEREIRA, I. M.; CARVALHO, T.F. Regeneração natural em cascalheira em recuperação por meio do uso de topsoil. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17, p. 2297-2305, 2013.

BRUNO, J. F. Facilitation of cobble beach plant communities through habitat modification by *Spartina alterniflora*. **Ecology**, Washington, v.81, n.5, p.1179-1192, 2000.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; SOARES, A. L. L. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronossequências de reabilitação após a mineração de bauxita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 621-632, 2008.

CONNEL, J.H.; SLATYER, R.O. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. **The American Naturalist**, Chicago, v.111, n.982, p.1119-1144, 1977.

DALLING, J. W.; HUBBELL, S. P.; SILVERA, K. Seed dispersal, seedling establishment and gap partitioning among tropical pioneer trees. **Journal of Ecology**, 86: 674-689, 1998.

DIAS, L. E.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C. Fertilidade do solo e seu manejo em áreas degradadas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS. p. 955-990. 2007.

FLORY, S.L.; CLAY, K. Non-native grass invasion suppresses forest succession. **Oecologia**, Berlim, n.164, p.1029-1038, 2010a.

FONTES, M. P. F. Estudo pedológico reduz impacto da mineração. **Revista Cetesb de Tecnologia Ambiental**, São Paulo. v.5, n.1, p.58-61, 1991.

FRANCO, A.A.; CAMPELLO, E. F. C.; DIAS, L. E.; FARIA, S. M. de. 1996. **Uso de leguminosas associadas a microrganismos na revegetação de áreas de mineração em Porto Trombetas, PA**. Série Documentos. Embrapa Agrobiologia, Itaguaí.

GIULIETTI, A. M.; MENEZES, N. L.; PIRANI, J. R.; MEGURO, M.; WANDERLEY, M. G. L. Flora da Serra do Cipó: caracterização e lista de espécies. **Boletim** de Botânica da Universidade de São Paulo, São Paulo- SP, v.9, p.1-151, 1987.

GUEDES, M. L. S.; ORGE, M. D. R. **Checklist das espécies vasculares do Morro do Pai Inácio (Palmeiras) e Serra da Chapadinha (Lençóis), Chapada Diamantina, Bahia, Brasil/Projeto diversidade florística e distribuição das plantas da Chapada Diamantina, Bahia**. Instituto de Biologia da UFBA, Salvador, p.69, 1998.

HALL, S. L.; BARTON, C. D.; BASKIN, C. C. Topsoil Seed Bank of an Oak–Hickory Forest in Eastern Kentucky as a Restoration Tool on Surface Mines. **Restoration Ecology**, Washington, v.18, n.6, p.834-842, 2010.

HARLEY, R. M. Introduction *In*: Stannard, B. L. (Ed.). Flora of the Pico das Almas, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. **Royal Botanic Gardens**, Sydney, p.1-42, 1995.

HATTORI, E. K. O.; NAKAJIMA, J. N. A família Asteraceae na estação de pesquisa e desenvolvimento ambiental galheiro, perdizes, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 59, n. 4, p. 687-749. 2008.

MARTINS, S. V.; BUSATO, L. C.; CALEGARI, L.; RIBEIRO, T. M. A contribuição da ecologia florestal no desenvolvimento de modelos e técnicas de restauração florestal de áreas degradadas. **Ação Ambiental**, Viçosa, n.36, p.10-13, 2007.

MENDONÇA, M. P.; SANTOS, F.M.G.; ARRUDA, L.J. 2007. Resgate de espécies vegetais dos campos ferruginosos em área de mineração - Mina de Minério de Ferro Capão Xavier, Nova Lima, MG. *In*: Tânia Sampaio Pereira, Maria Lúcia Nova da Costa & Peter Wyse Jackson (orgs.). **Recuperando o verde para as cidades: a experiência dos jardins botânicos brasileiros**. Rio de Janeiro: Rede Brasileira de Jardins Botânicos; Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro; Botanic Gardens Conservation International, p. 99-118.

MIYASAKA, S. **Histórico de estudos de adubação verde, leguminosas viáveis e suas características**. *In*: FUNDAÇÃO CARGIL. Adubação verde no Brasil. Campinas, 1984. p.64- 124.

MOURAO, A.; STEHMANN, J.R. Levantamento da flora do campo rupestre sobre canga hematítica couraçada remanescente na mina do Brucutu, Barão de Cocais, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguesia**, Rio de Janeiro, v. 58, p.775-786, 2007.

NELDER, J.A. New kinds of systematic designs for spacing experiments. **Biometrics**, n.18, p.283-307, 1962.

REZENDE, L. A. L. **Reabilitação de campos ferruginosos degradados pela atividade minerária no Quadrilátero Ferrífero**. 2010. 63p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. Pp. 151-199. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. (Eds.). **Cerrado: Ecologia e flora**. Brasília, EMBRAPA-CPAC. 2008.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S.P. de (org.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: Embrapa-CPAC. 1998, p.89-166.

RODRIGUES, B. D.; MARTINS, V. M.; LEITE, H. G. Avaliação do potencial da transposição da serrapilheira e do banco de sementes do solo para restauração florestal em áreas degradadas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.1, p.65-73, 2010.

SANTOS, L. M. **Restauração de campos ferruginosos mediante resgate de flora e uso de topsoil no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais**. 2010. 128p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

SILVA, S. R.; PROCOPIO, S. O.; QUEIROZ, T. F. N.; DIAS, L. E. Caracterização de rejeito de mineração de ouro para avaliação de solubilização de metais pesados e arsênio e revegetação local. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v.28, p.189-196, 2004.

SILVA, W. R. A importância das interações planta-animal nos processos de restauração. In: KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F. B. **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu-SP, 1ª ed., cap. 4, p.79-90, 2003.

WARD, S.C.; KOCH, J.M.; AINSWORTH, G.L. The effect of timing of rehabilitation procedures on the establishment of a jarrah forest after bauxite mining. **Restoration Ecology**, v.4, p.19-24, 1996.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O plantio de mudas resgatadas somado à transposição da camada superficial do solo (*topsoil*), proveniente dos campos rupestres ferruginosos, resultante da abertura de lavras de mineração nesse ecossistema, tornaram-se alternativas que contribuíram de forma significativa para a melhoria das condições do solo, conservação das espécies e ativação do processo de regeneração natural na área em estudo.

Nesse sentido, essas técnicas apresentaram resultados eficientes na restauração da pilha de estéril, uma vez que as espécies plantadas apresentaram elevadas taxas de sobrevivência, favoreceram o estabelecimento e crescimento inicial de espécies plantadas e regeneradas do *topsoil*, além de ter proporcionado uma rápida cobertura do solo, por meio de diferentes formas de vida do seu banco de sementes. O uso do *topsoil*, em conjunto com o plantio de mudas, gerou uma riqueza florística de 84 espécies, com 12 % de espécies autóctones, possibilitando o restabelecimento das funções originais do ecossistema e impulsionando a sustentabilidade da área em recuperação.

Quanto ao manejo das espécies plantadas, é necessário maior tempo de avaliação para indicar o espaçamento ou densidade de plantio mais adequado para aplicação na restauração de ambientes degradados.

**APÊNDICE A- PASSOS PARA A ANÁLISE DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL NO
PROGRAMA R**

Modelo de dados

Área por planta (m ²)	Nº Raio	Coordenadas		Tratamento	Incremento em altura (cm)
		x1 (m)	x2 (m)		
2	1	9,8551	-2,6407	1	14,1
2	2	9,2468	-4,3119	1	44,6
2	3	8,3576	-5,8521	1	14,6
2	4	7,2144	-7,2144	1	18,6
2	5	5,8521	-8,3576	1	32,1
2	6	4,3119	-9,2468	1	6,9
2	7	2,6407	-9,8551	1	46,6
2	8	0,8892	-10,1639	1	34,8
2	9	-0,8892	-10,1639	1	3,9
2	10	-2,6407	-9,8551	1	1,3
2	11	-4,3119	-9,2468	1	1,8
2	12	-5,8521	-8,3576	1	63,2
2	13	-7,2144	-7,2144	1	56,6
2	14	-8,3576	-5,8521	1	30,8
2	15	-9,2468	-4,3119	1	19,1
2	16	-9,8551	-2,6407	1	46,2
2,5	1	10,9995	-2,9473	2	23,6
2,5	2	10,3206	-4,8126	2	39,3
2,5	3	9,3281	-6,5316	2	29,4
2,5	4	8,0522	-8,0522	2	2,1
2,5	5	6,5316	-9,3281	2	0,1
2,5	6	4,8126	-10,3206	2	24,6
2,5	7	2,9473	-10,9995	2	47,9
2,5	8	0,9925	-11,3442	2	0,1
2,5	9	-0,9925	-11,3442	2	34,1
2,5	10	-2,9473	-10,9995	2	10,1
2,5	11	-4,8126	-10,3206	2	58,6
2,5	12	-6,5316	-9,3281	2	26,4
2,5	13	-8,0522	-8,0522	2	59,9
2,5	14	-9,3281	-6,5316	2	16,6
2,5	15	-10,3206	-4,8126	2	41,4
2,5	16	-10,9995	-2,9473	2	31,6
3,1	1	12,2768	-3,2896	3	20,1
3,1	2	11,5191	-5,3714	3	1,8
3,1	3	10,4113	-7,2901	3	0,1
3,1	4	8,9872	-8,9872	3	0,1
3,1	5	7,2901	-10,4113	3	0,1
3,1	6	5,3714	-11,5191	3	0,1
3,1	7	3,2896	-12,2768	3	1,1
3,1	8	1,1077	-12,6615	3	20,6
3,1	9	-1,1077	-12,6615	3	2,1
3,1	10	-3,2896	-12,2768	3	26,1
3,1	11	-5,3714	-11,5191	3	28,6
3,1	12	-7,2901	-10,4113	3	109,1
3,1	13	-8,9872	-8,9872	3	13,5
3,1	14	-10,4113	-7,2901	3	23,6
3,1	15	-11,5191	-5,3714	3	2,9
3,1	16	-12,2768	-3,2896	3	30,1
3,9	1	13,7024	-3,6716	4	0,1
3,9	2	12,8567	-5,9952	4	54,1
3,9	3	11,6203	-8,1366	4	25,4
3,9	4	10,0309	-10,0309	4	6,3
3,9	5	8,1366	-11,6203	4	21,6

3,9	6	5,9952	-12,8567	4	2,4
3,9	7	3,6716	-13,7024	4	5,9
3,9	8	1,2364	-14,1318	4	51,3
3,9	9	-1,2364	-14,1318	4	12,1
3,9	10	-3,6716	-13,7024	4	38,1
3,9	11	-5,9952	-12,8567	4	7,1
3,9	12	-8,1366	-11,6203	4	8,4
3,9	13	-10,0309	-10,0309	4	2,6
3,9	14	-11,6203	-8,1366	4	3,2
3,9	15	-12,8567	-5,9952	4	9,8
3,9	16	-13,7024	-3,6716	4	20,1
4,8	1	15,2936	-4,0979	5	0,4
4,8	2	14,3497	-6,6914	5	71,1
4,8	3	12,9697	-9,0815	5	15,8
4,8	4	11,1957	-11,1957	5	20,2
4,8	5	9,0815	-12,9697	5	14,1
4,8	6	6,6914	-14,3497	5	6,6
4,8	7	4,0979	-15,2936	5	0,1
4,8	8	1,3799	-15,7728	5	45,6
4,8	9	-1,3799	-15,7728	5	60,6
4,8	10	-4,0979	-15,2936	5	50,1
4,8	11	-6,6914	-14,3497	5	66
4,8	12	-9,0815	-12,9697	5	10,2
4,8	13	-11,1957	-11,1957	5	31,1
4,8	14	-12,9697	-9,0815	5	47,4
4,8	15	-14,3497	-6,6914	5	22,6
4,8	16	-15,2936	-4,0979	5	27,6
6	1	17,0695	-4,5738	6	4,1
6	2	16,016	-7,4684	6	0,4
6	3	14,4758	-10,1361	6	4,1
6	4	12,4958	-12,4958	6	0,1
6	5	10,1361	-14,4758	6	64,1
6	6	7,4684	-16,016	6	0,1
6	7	4,5738	-17,0695	6	21,1
6	8	1,5402	-17,6044	6	29,5
6	9	-1,5402	-17,6044	6	2,1
6	10	-4,5738	-17,0695	6	29,1
6	11	-7,4684	-16,016	6	19,6
6	12	-10,1361	-14,4758	6	1,1
6	13	-12,4958	-12,4958	6	4,1
6	14	-14,4758	-10,1361	6	4,1
6	15	-16,016	-7,4684	6	7,2
6	16	-17,0695	-4,5738	6	5,1
7,5	1	19,0517	-5,1049	7	99,9
7,5	2	17,8758	-8,3356	7	58,6
7,5	3	16,1568	-11,3131	7	11,1
7,5	4	13,9468	-13,9468	7	1,1
7,5	5	11,3131	-16,1568	7	50,8
7,5	6	8,3356	-17,8758	7	0,9
7,5	7	5,1049	-19,0517	7	0,1
7,5	8	1,719	-19,6487	7	1,6
7,5	9	-1,719	-19,6487	7	26,1
7,5	10	-5,1049	-19,0517	7	34,5
7,5	11	-8,3356	-17,8758	7	6,3
7,5	12	-11,3131	-16,1568	7	58,3
7,5	13	-13,9468	-13,9468	7	34,6
7,5	14	-16,1568	-11,3131	7	18,1
7,5	15	-17,8758	-8,3356	7	6,9
7,5	16	-19,0517	-5,1049	7	7,1
9,3	1	21,2641	-5,6977	8	2,1

9,3	2	19,9516	-9,3036	8	17,2
9,3	3	18,033	-12,6268	8	23,1
9,3	4	15,5664	-15,5664	8	0,1
9,3	5	12,6268	-18,033	8	79,1
9,3	6	9,3036	-19,9516	8	30,1
9,3	7	5,6977	-21,2641	8	11,3
9,3	8	1,9187	-21,9304	8	17,3
9,3	9	-1,9187	-21,9304	8	93,1
9,3	10	-5,6977	-21,2641	8	15,1
9,3	11	-9,3036	-19,9516	8	74
9,3	12	-12,6268	-18,033	8	82,2
9,3	13	-15,5664	-15,5664	8	51,6
9,3	14	-18,033	-12,6268	8	42,6
9,3	15	-19,9516	-9,3036	8	16,8
9,3	16	-21,2641	-5,6977	8	9,6

#Lendo os dados

```
a = read.csv("altura.csv",sep = ";", header = TRUE)
```

#Especificando o tratamento

```
trat <- as.factor(a$Trat)
```

#Ativando o pacote

```
require(MASS)
```

#Verificando se é necessário transformação dos dados

```
box <- boxcox(a$altura~trat)
```

#A partir da análise do gráfico gerado são estipulados os valores da sequência que maximiza a função lambda

```
box <- boxcox(a$altura~trat, lambda=seq(-0,5,0,4, 1/10))
```

#Gerando o valor de lambda

```
lambda <- box$x[which(box$y==max(box$y))]
```

```
lambda
```

A partir do valor de lambda verifica-se há necessidade de transformação

```
diametro <-log(c$d4)
```

Rodando Anova para o modelo

```
f <- aov(diametro ~ trat)
```

```
f
```

#Ativando o pacote geoestatístico

```
require(geoR)
```

#Extraindo os resíduos do modelo

```
res = residuals(f)
```

#Teste de normalidade dos resíduos

```
shapiro,test(res)
```

#Criando um dataframe com resíduos e coordenadas

(Transforma os resíduos em dados geoestatísticos)

```
res,coord = data,frame(c$x1,c$x2,res)
```

#Convertendo uma matriz de dados como uma classe de dados geográficos

```
resigeo = as,geodata(res,coord,coords,col=1:2,data,col=3)
```

#Criando uma matriz de dados do modelo

```
X = model,matrix(f)
```

```
X
```

#Semivariograma empírico:

#Calcula e retorna a matriz de distâncias

```
dist,eu = max(dist(resigeo$coords))
```

```
varemp = variog(resigeo,coords=resigeo$coords, resigeo$data,max,dist=(dist,eu)*0,75,  
messages=FALSE)
```

```
plot(varemp)
```

Semivariogramas teóricos:

A partir da análise do semivariograma empírico são estipulados os valores iniciais dos parâmetros do modelo: ini,cov,pars= c(efeito pepita, variância)

```
varteo =
```

```
variofit(varemp,ini,cov,pars=c(2,1),nug=2,cov,model="exp",limits=pars,limits(phi=c(0,  
dist,eu)),messages=FALSE)
```

```
varteo1 =
```

```
variofit(varemp,ini,cov,pars=c(2,1),nug=2,cov,model="mat",kappa=1,limits=pars,limits(phi=  
c(0, dist,eu)),messages=FALSE)
```

```
varteo2 =
```

```
variofit(varemp,ini,cov,pars=c(2,1),nug=2,cov,model="mat",kappa=2,limits=pars,limits(phi=  
c(0, dist,eu)),messages=FALSE)
```

Envelope simulado:

```
ano,v,mc = variog,mc,env(resigeo, obj=varemp)
```

Gráfico de ajuste dos semivariogramas teóricos ao semivariograma empírico e envelope simulado:

```
plot(varemp, main="", ylab=" ", xlab=" ", cex,axis=1,2,cex=1)
```

```
lines(varteo,col="green",lwd=1,8)
```

```
lines(varteo1,col="blue",lwd=1,8)
```

```

lines(varteo2,col="red",lwd=1,8)
lines(ano,v,mc,col=25,lwd=1,8)
legend(10,1,6, legend=c("Exponencial", "Matérn(k=1)", "Matérn(k=2)",
"variog,env"),col=c(2,3,4,25),lty=c(1,1,1,1),lwd=c(2,2,2,2))
title(main="4 meses", xlab= " Distância",ylab= "Semivariância",cex,lab=1,2,cex,main=1,3)
# Estimação dos parâmetros espaciais por máxima verossimilhança:
altura,coords <- data,frame(resigeo$coords,diametro,trat)
altura,geo = as,geodata(altura,coords,coords,col=1:2,data,col=3,covar,col=4)
mv,altura =
likfit(altura,geo,trend=~trat,ini,cov=c(0,01,0,1),nug=1,cov,model="exp",message=FALSE)
mv,altura1 =
likfit(altura,geo,trend=~trat,ini,cov=c(0,01,0,1),nug=1,cov,model="mat",kappa=1,
message=FALSE)
mv, altura2 =
likfit(altura,geo,trend=~trat,ini,cov=c(0,01,0,1),nug=1,cov,model="mat",kappa=2,
message=FALSE)
mv, altura
mv, altura1
mv, altura 2
#Critério de Akaike para seleção de modelos:
compara = cbind (c(mv,altura $log, mv, altura1$log, mv, altura2$log),c(mv,altura $npars,
mv,altura 1$npars, mv,altura 2$npars),c(mv, altura $AIC, mv, altura 1$AIC, mv, altura
2$AIC))
dimnames(compara) <- list(c("ML", "ML1", "ML2"),c("logL", "npars", "AIC"))
compara

```

ANEXO A- FIGURAS DOS EXPERIMENTOS

Figura 1. *Topsoil* associado à canga ferruginosa sobre a pilha de estéril de canga ferruginosa em Conceição do Mato Dentro, MG (Dezembro, 2013)



Figura 2. Plantio de mudas de *Pseudobombax campestre* no Modelo em Leque (A) e árvore de *P. campestre* aos 12 meses após o replantio (B).

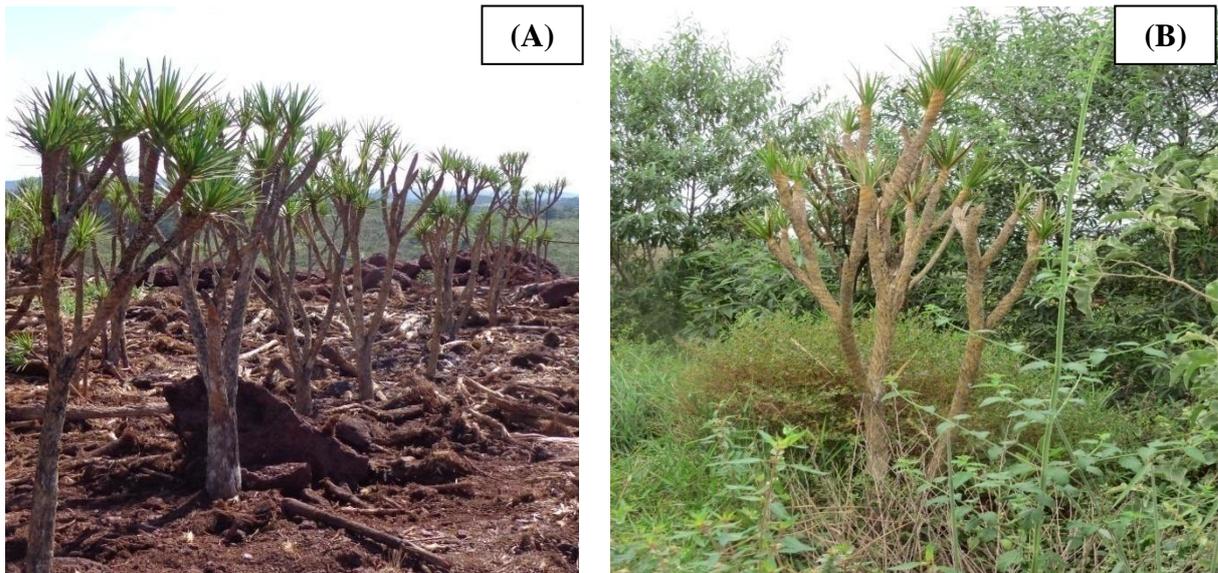


Figura 3. Plantio de *Vellozia ramosissima* no Modelo em Leque (A) e *V. ramosissima* aos 12 meses após o replantio (B).



Figura 4. Cobertura vegetal desenvolvida pelo *topsoil* aos 10 (A) e 18 meses (B) após a deposição sobre a pilha de estéril de canga ferruginosa