

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO  
JEQUITINHONHA E MUCURI – UFMG

CRISTIANY SILVA AMARAL

COMPORTAMENTO DE ESPÉCIES NATIVAS E EXÓTICAS SOB  
ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA EM REJEITO DE MINERAÇÃO DE  
QUARTZITO

DIAMANTINA - MG  
2012

CRISTIANY SILVA AMARAL

COMPORTAMENTO DE ESPÉCIES NATIVAS E EXÓTICAS SOB  
ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA EM REJEITO DE MINERAÇÃO DE  
QUARTZITO

Dissertação apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Enilson de Barros Silva

Coorientador

Prof. Dr. Israel Marinho Pereira

DIAMANTINA - MG

2012

CRISTIANY SILVA AMARAL

COMPORTAMENTO DE ESPÉCIES NATIVAS E EXÓTICAS SOB  
ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA EM REJEITO DE MINERAÇÃO DE  
QUARTZITO

Dissertação apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 10 de fevereiro de 2012

Prof. Dr. Luiz Arnaldo Fernandes - ICA/UFMG  
Membro

Prof. Dr. Israel Marinho Pereira - UFVJM  
Membro

Prof. Dr. Enilson de Barros Silva - UFVJM  
Presidente

DIAMANTINA - MG  
2012

*Ofereço*

*Esta vitória aos meus pais,  
que sempre estiveram presentes  
em todos os momentos dessa caminhada.*

*“Quando uma criatura humana desperta para um grande sonho  
e sobre ele lança toda a força de sua alma, todo o universo  
conspira a seu favor”*

*Johann Goethe*

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS pela minha existência e proteção;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri, pela valiosa oportunidade oferecida e pela contribuição à minha formação;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudo;

Ao professor Enilson de Barros Silva, pela orientação, sabedoria, paciência e respeito e grande aprendizado que me proporcionou;

Ao professor Israel Marinho Pereira, pelo exemplo de competência profissional e simplicidade que levarei sempre comigo;

Aos meus ajudantes, em especial Bárbara Nardis, sempre eficientes no desempenho de suas funções;

Aos amigos Rafael Baracho, Lindomar Gomes e Múcio Mágnio pela amizade e pelas conversas sempre animadas e, claro, pelo auxílio e dedicação na realização das análises de tecido vegetal;

A todos os colegas da pós-graduação, em especial Luciana, Janaina, Ana Ceron, Izabel, Nathália e Vinicius Machado, pela convivência, companheirismo e amizade compartilhados nesse período;

A toda minha família, em especial, meus pais Magna e Gilson, meu irmão Wander e ao meu namorado Coimbra, pelo incentivo, carinho e renúncia;

A todas as pessoas que passaram pelo meu caminho e que de alguma forma marcaram essa importante etapa de minha vida.

## RESUMO

AMARAL, Cristiany Silva. **Comportamento de espécies nativas e exóticas sob adubação mineral e orgânica em rejeito de mineração de quartzito**, 2012. 101p. (Dissertação - Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2012.

O declínio da mineração de diamante na região de Diamantina-MG e entorno, com a interrupção das buscas e o gradativo esgotamento das minas em operação, está proporcionando a descoberta e a exploração de maciços de quartzito, o que ocasiona a degradação da vegetação existente e do solo, criando um ambiente bastante inóspito ao crescimento de plantas. Este trabalho objetivou caracterizar o rejeito proveniente de áreas de mineração de quartzito no município de Diamantina-MG e entorno, por meio da avaliação química e granulométrica dos rejeitos, bem como avaliar o comportamento de *Brachiaria brizantha*, *Vetiveria zizanioides*, *Eremanthus erythropappus*, *Solanum lycocarpum* e *Dalbergia miscolobium*, sob a influência da adubação mineral e orgânica quando cultivada em rejeito da mineração de quartzito, para apoiar a recuperação dessas áreas de exploração. Para tanto foram montados seis experimentos: no primeiro, foram coletadas 27 amostras compostas, cuidadosamente homogeneizadas, secas ao ar e passadas em peneira de malha de 2,0mm, para posterior caracterização química e granulométrica, sendo determinado para cada variável o teor mínimo, máximo, médio e mediano; com intervalo de confiança a 5% para média e coeficiente de variação e um estudo da frequência de ocorrência de resultados por faixa de classificação de interpretação da fertilidade do solo. Os demais experimentos foram realizados em condições de casa de vegetação, tiveram os tratamentos dispostos em delineamento inteiramente casualizado, com cinco combinações de adubação orgânica (AO) e adubação mineral (AM) e um tratamento adicional (Controle), com quatro repetições. Para as forrageiras de cobertura, a dose recomendada de 100% AM (NPK) e AO (esterco de curral) corresponderam a 50kg ha<sup>-1</sup> N, 50kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 40kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O e 10 t ha<sup>-1</sup> esterco bovino, por dm<sup>3</sup> de rejeito, sendo avaliados a produção total de matéria seca, os teores e os conteúdos de nutrientes na parte aérea e nas raízes. Para as espécies nativas, a dose recomendada de 100% AM (NPK) e AO (esterco bovino) correspondeu a 150mg de N, 140mg de P, 150mg de K e 5g de esterco, por dm<sup>3</sup> de rejeito, sendo avaliadas as seguintes variáveis: altura das mudas, diâmetro do caule, massa seca da parte aérea e de raízes, e teor de nutrientes na parte aérea das mudas. As amostras de rejeito analisadas apresentaram baixos teores de matéria orgânica, P, K, Ca e Mg e alta acidez. Os rejeitos apresentaram granulometria que dificulta o crescimento do sistema radicular de plantas, o que indica sérias restrições ao estabelecimento de espécies vegetais. A *B. brizantha* cv. *Marandu* respondeu à adubação mineral e orgânica com as doses recomendadas de 37kg N, 37kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 30kg K<sub>2</sub>O e 2,6t esterco de curral por ha. Enquanto *Vetiveria zizanioides* respondeu à adubação mineral com as doses correspondentes de 50kg N, 50kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 40kg K<sub>2</sub>O por ha. Houve resposta das mudas de *Eremanthus erythropappus* à adubação mineral e orgânica com as doses recomendadas de 0,075g N, 0,35g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 0,125g K<sub>2</sub>O e 2,5g esterco de curral por dm<sup>3</sup> de rejeito de quartzito. A espécie nativa *Solanum lycocarpum* também respondeu à aplicação da adubação orgânica e mineral com as doses recomendadas de 0,036g N, 0,168 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 0,060g K<sub>2</sub>O e 2,5g esterco de curral por dm<sup>3</sup> de rejeito de quartzito. Já *Dalbergia miscolobium* respondeu somente à adubação mineral com as doses recomendadas de 25mg N, 25mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20mg K<sub>2</sub>O por dm<sup>3</sup> de rejeito. A adubação orgânica e mineral recomendada para aplicação ao rejeito de quartzito para máximo crescimento das mudas e produção de matéria seca possibilitou obter os teores adequados de nutrientes na parte aérea das espécies estudadas.

**Palavras-chave:** Áreas degradadas. Mineração. Estado nutricional. Acumulo nutrientes.

## ABSTRACT

AMARAL, Cristiany Silva. **Behavior of native and exotic species in mineral and organic fertilizer in reject mining quartzite**, 2012. 101p. Dissertation (Masters in Forest Science) – Federal University of the Jequitinhonha and Mucuri Valley, Diamantina, 2012.

The decline in diamond mining in the region of Diamantina-Minas Gerais and its surroundings, with the interruption of the searches and the gradual exhaustion of the mines in operation, is providing the discovery and exploitation of massive quartzite, which causes the degradation of existing vegetation and soil, creating an environment very inhospitable to plant growth. This study aimed to characterize the waste from mining areas of quartzite in Diamantina-Minas Gerais and its surroundings, through the evaluation of particle size and chemical wastes, as well as to evaluate the behavior of *Brachiaria brizantha*, *Vetiveria zizanioides*, *Eremanthus erythropappus*, *Solanum lycocarpum* *Dalbergia miscolobium* beneath the influence of mineral and organic fertilizer when grown on tailings from mining of quartzite, to support the recovery of these areas of exploration. Therefore, it were assembled six experiments: in the first, 27 composite samples were collected, carefully homogenized, air dried and passed through sieve mesh of 2.0mm for subsequent chemical characterization and particle size was determined for each variable the minimum, maximum, mean and median, confidence interval at 5% for mean and coefficient of variation and a study of the occurrence frequency of results by range of classification for interpretation of soil fertility. Other experiments were conducted in greenhouse conditions, treatments were arranged in completely randomized design with five combinations of organic manure (OM) and mineral fertilization (MF) and an additional treatment (Control), with four replications.

For forage coverage, the recommended dose of 100% MF (NPK) and OM (manure bovine) corresponded to 50kg ha<sup>-1</sup> N, 50kg ha<sup>-1</sup> P, 205,40kg K, 20 ha<sup>-1</sup> and 10t ha<sup>-1</sup> manure by dm<sup>3</sup> of tailings, and evaluated the total production of dry matter contents and nutrient contents in shoots and roots. For native species, the recommended dose of 100% MF (NPK) and OM (manure) corresponded to 150 mg of N, 140mg P, 150mg K and 5g of dung per dm<sup>3</sup> of tailings, and evaluated the following variables: seedling height, stalk diameter, dry mass of shoots and roots, and nutrient contents in shoots of seedlings. The tailings samples presented low levels of organic matter, P, K, Ca and Mg and high acidity. The tailings particle size showed that hinder the growth of the root system of plants, which indicates serious restrictions on the establishment of plant species. *B. brizantha* cv. Marandu responded to mineral and organic fertilization with the recommended dose of 37kg N, 37kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 30 kg K<sub>2</sub>O and 2.6 t farmyard manure per hectare. While *Vetiveria zizanioides* responded to manuring with corresponding doses of 50kg N, 50kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 40 kg K<sub>2</sub>O per ha. There was response of seedlings *Eremanthus erythropappus* at the mineral and organic fertilization with the recommended doses of 0.075 g N, 0.35 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O 0.125 g and 2.5 g manure per dm<sup>3</sup> of tailings quartzite. The native species *Solanum lycocarpum* also responded to the application of organic and mineral fertilization with the recommended doses of 0.036g N, 0.16 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O 0.060g and 2.5g manure per dm<sup>3</sup> of tailings quartzite. Have *Dalbergia miscolobium* responded only to the mineral fertilizer with the recommended doses of 25 mg N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 25mg, 20mg by K<sub>2</sub>O dm<sup>3</sup> of tailings. The organic and mineral fertilization recommended for application to reject quartzite for maximum plant growth and dry matter production allowed to obtain appropriate levels of nutrients in the shoots of the species.

**Keywords:** Degraded areas. Mining. Nutritional status. Nutrients accumulation.

## LISTA DE TABELAS

		Pág.
<b>ARTIGO CIENTÍFICO I</b>		
1	Limites de interpretação do nível de fertilidade do solo adotados pelos laboratórios integrados ao PROFERT-MG da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais.....	7
2	Parâmetros estatísticos dos atributos químicos e granulométricos dos rejeitos das áreas de extração de quartzito da região de Diamantina (MG) e entorno.....	8
<b>ARTIGO CIENTÍFICO II</b>		
Tabela 1	Análise química e de textura do rejeito da mineração de quartzito.....	21
Tabela 2	Equações de regressão ajustadas para os teores de macro e micronutrientes na parte aérea de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu em função da porcentagem de adubação mineral aplicada em rejeito da mineração de quartzito, teor adequado (TA) de nutrientes e na testemunha, num período de 140 dias após o corte de uniformização.....	25
Tabela 3	Equações de regressão ajustadas para o acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea e nas raízes na massa seca de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu em função da porcentagem de adubação mineral aplicada em rejeito da mineração de quartzito, acúmulo máximo (AM) de nutrientes e na testemunha, num período de 140 dias após o corte de uniformização.....	29
<b>ARTIGO CIENTÍFICO III.</b>		
Tabela 1	Análise química e de textura do rejeito da mineração de quartzito.....	39
Tabela 2	Equações de regressão ajustadas para os teores de macro e micronutrientes na parte aérea de <i>Vetiveria zizanioides</i> em função da porcentagem de adubação mineral aplicada em rejeito da mineração de quartzito, teor adequado (TA) de nutrientes e no controle, num período de 140 dias após o corte de uniformização.....	44
Tabela 3	Equações de regressão ajustadas para o acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea e nas raízes na massa seca de <i>Vetiveria zizanioides</i> em função da porcentagem de adubação mineral aplicada em rejeito da mineração de quartzito, acúmulo máximo (AM) de nutrientes e no controle, num período de 140 dias após o corte de uniformização.....	46

ARTIGO CIENTÍFICO IV.		Pág.
Tabela 1	Análise química e de textura do rejeito da mineração de quartzito.....	54
Tabela 2	Diâmetro do caule, altura de mudas, massa seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR) e relação de MSR e MSPA de mudas de candeia aos 120 dias em função da porcentagem de adubação mineral (AM) e orgânica (AO) aplicada em rejeito da mineração de quartzito.....	57
Tabela 3	Equações de regressão ajustadas para os teores de macro e micronutrientes na parte aérea de candeia em função da porcentagem de adubação mineral aplicada em rejeito da mineração de quartzito, teor adequado (TA) de nutrientes e no controle, num período de 120 dias.....	59
Tabela 4	Equações de regressão ajustadas para o acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea de candeia em função da porcentagem de adubação mineral aplicada em rejeito da mineração de quartzito, acúmulo máximo (AM) de nutrientes e no controle, num período de 120 dias.....	62
ARTIGO CIENTÍFICO V.		
Tabela 1	Análise química e de textura do rejeito da mineração de quartzito.....	71
Tabela 2	Diâmetro do caule, altura de mudas, massa seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR) e relação de MSR e MSPA de mudas de lobeira aos 120 dias em função da porcentagem de adubação mineral (AM) e orgânica (AO) aplicada em rejeito da mineração de quartzito.....	74
Tabela 3	Equações de regressão ajustadas para os teores de macro e micronutrientes na parte aérea de lobeira em função da porcentagem de adubação mineral aplicada em rejeito da mineração de quartzito, teor adequado (TA) de nutrientes e no controle, num período de 120 dias.....	76
Tabela 4	Equações de regressão ajustadas para o acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea de lobeira em função da porcentagem de adubação mineral aplicada em rejeito da mineração de quartzito, acúmulo máximo (AM) de nutrientes e no controle, num período de 120 dias.....	79
ARTIGO CIENTÍFICO VI.		
Tabela 1	Análise química e de textura do rejeito da mineração de quartzito.....	88
Tabela 2	Diâmetro do caule, altura de mudas, massa seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR) e relação de MSR e MSPA de mudas de jacarandá aos 125 dias em função da porcentagem de adubação mineral (AM) e orgânica (AO) aplicada em rejeito da mineração de quartzito.....	91

## ARTIGO CIENTÍFICO VI.

Pág.

Tabela 3	Equações de regressão ajustadas para os teores de macro e micronutrientes na parte aérea de mudas de jacarandá em função da porcentagem de adubação mineral aplicada em rejeito da mineração de quartzito, teor adequado (TA) de nutrientes e no controle, num período de 125 dias.....	93
Tabela 4	Equações de regressão ajustadas para o acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea de mudas de jacarandá em função da porcentagem de adubação mineral aplicada em rejeito da mineração de quartzito, acúmulo máximo (AM) de nutrientes e no controle, num período de 125 dias.....	96

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ARTIGO CIENTÍFICO I.		Pág.
Figura 1	Distribuição de frequência dos atributos: pH do solo (a), Al trocável (b), acidez potencial (c) e saturação de alumínio (d) dos rejeitos das áreas de extração de quartzito da região de Diamantina (MG) e entorno.....	10
Figura 2	Distribuição de frequência dos atributos: teores de potássio (a), cálcio (b), magnésio (c) e saturação por bases (d) dos rejeitos das áreas de extração de quartzito da região de Diamantina (MG) e entorno.....	12
Figura 3	Distribuição de frequência dos atributos: CTC efetiva (a), CTC pH 7 (b) e matéria orgânica (c) dos rejeitos das áreas de extração de quartzito da região de Diamantina (MG) e entorno.....	13
Figura 4	Distribuição de frequência dos atributos: teores de argila (a) e fósforo (P) disponível (b) dos rejeitos das áreas de extração de quartzito da região de Diamantina (MG) e entorno.....	14
ARTIGO CIENTÍFICO II.		
Figura 1	Massa seca da parte aérea (a), das raízes (b) e total (c) de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu em função da porcentagem de adubação mineral (AM) e orgânica (AO) aplicada em rejeito da mineração de quartzito num período de 140 dias após o corte de uniformização. (** significativo a 1% pelo teste de t).....	23
ARTIGO CIENTÍFICO III.		
Figura 1	Massa seca da parte aérea (a), das raízes (b) e total (c) de <i>Vetiveria zizanioides</i> em função da porcentagem de adubação mineral (AM) e orgânica (AO) aplicada em rejeito da mineração de quartzito num período de 140 dias após o corte de uniformização. (** significativo a 1% pelo teste de t).....	42
ARTIGO CIENTÍFICO IV.		
Figura 1	Escore da variável canônica da análise multivariada em função da porcentagem de adubação mineral (AM) e orgânica (AO) aplicada em rejeito da mineração de quartzito no crescimento de mudas de candeia. (** significativo a 1% pelo teste de t).....	57
ARTIGO CIENTÍFICO V.		
Figura 1	Escore da variável canônica da análise multivariada em função da porcentagem de adubação mineral (AM) e orgânica (AO) aplicada em rejeito da mineração de quartzito no crescimento de mudas de lobeira (** significativo a 1% pelo teste de t).....	74
ARTIGO CIENTÍFICO VI.		
Figura 1	Escore da variável canônica da análise multivariada em função da porcentagem de adubação mineral (AM) e orgânica (AO) aplicada em rejeito da mineração de quartzito no crescimento de mudas de jacarandá (** significativo a 1% pelo teste de t).....	92

## SUMÁRIO

	Pág.
INTRODUÇÃO GERAL.....	01
REFERÊNCIAS.....	02
ARTIGO CIENTIFICO I.....	03
1 Resumo.....	03
2 Abstract.....	04
3 Introdução.....	05
4 Material e métodos.....	06
5 Resultados e discussão.....	07
6 Conclusões.....	14
7 Agradecimentos.....	15
8 Referências bibliográficas.....	15
ARTIGO CIENTIFICO II.....	18
1 Resumo.....	18
2 Abstract.....	19
3 Introdução.....	20
4 Material e métodos.....	21
5 Resultados e discussão.....	23
6 Conclusões.....	30
7 Agradecimentos.....	31
8 Referências bibliográficas.....	31
ARTIGO CIENTIFICO III.....	36
1 Resumo.....	36
2 Abstract.....	37
3 Introdução.....	38
4 Material e métodos.....	39
5 Resultados e discussão.....	41
6 Conclusões.....	47
7 Agradecimentos.....	47
8 Referências bibliográficas.....	48
ARTIGO CIENTIFICO IV.....	Pág.
1 Resumo.....	51
2 Abstract.....	52

3 Introdução.....	53
4 Material e métodos.....	54
5 Resultados e discussão.....	56
6 Conclusões.....	63
7 Agradecimentos.....	63
8 Referências bibliográficas.....	63
ARTIGO CIENTIFICO V.....	68
1 Resumo.....	68
2 Abstract.....	69
3 Introdução.....	70
4 Material e métodos.....	71
5 Resultados e discussão.....	73
6 Conclusões.....	80
7 Agradecimentos.....	80
8 Referências bibliográficas.....	80
ARTIGO CIENTIFICO VI.....	85
1 Resumo.....	85
2 Abstract.....	86
3 Introdução.....	87
4 Material e métodos.....	88
5 Resultados e discussão.....	90
6 Conclusões.....	97
7 Agradecimentos.....	97
8 Referências bibliográficas.....	97
CONCLUSÃO GERAL.....	101

## INTRODUÇÃO GERAL

O declínio da mineração de diamante na região de Diamantina (MG) e entorno, com a interrupção das descobertas e o gradativo esgotamento das minas em operação está levando a descoberta e a exploração de outras fontes minerais nesta região. Dentre as quais se destaca a exploração de maciços de quartzito o que vem resultando na geração e disposição irregular de um grande volume de resíduos que descaracterizam a paisagem local. O abandono de inúmeras pedreiras, em muitos países representa um desafio para a recuperação dessas áreas degradadas (YUAN et al., 2006).

A atividade de mineração contribui para a redução dos processos de regeneração natural (CULLEN et al., 1998) desfavorecendo o restabelecimento natural das espécies pelo fato de haver a remoção da vegetação, da camada superficial do solo, que contém sementes de plantas herbáceas, arbustivas e arbóreas que formam o banco de sementes e de plântulas que são partes integrantes da população vegetal (WILLIAMS, 1984).

Dentre as espécies que podem ser indicadas para compor os plantios nessas áreas degradadas destacam-se as espécies arbóreas nativas e as forrageiras.

As espécies nativas podem ser de grande importância no processo de restauração uma vez que estas espécies são de ocorrência natural e pelo fato das espécies nativas serem naturalmente adaptadas às regiões onde ocorrem é muito importante para o equilíbrio ambiental, pois existem complexas relações dos demais seres vivos com essas espécies. Enquanto que as forrageiras de cobertura são também de grande interesse nesse processo de recuperação uma vez que exercem papel na reconstituição das características físico-químicas do substrato, na reciclagem de nutrientes, na melhoria do aporte de matéria orgânica e na melhoria da fertilidade (FAGERIA et al., 1991; NOVÁK e PRACH, 2003) viabilizando, com isso o estabelecimento de espécies vegetais mais exigentes.

O pouco conhecimento do comportamento das espécies nativas, bem como das gramíneas forrageiras, principalmente em relação as suas exigências nutricionais em substrato oriundo de áreas degradadas pela mineração de quartzito torna sua utilização comprometida em programas de restauração.

Este trabalho objetivou caracterizar o rejeito proveniente de áreas de mineração de quartzito no município de Diamantina-MG e entorno por meio da avaliação química e granulométrica dos rejeitos, e avaliar o comportamento das espécies de cobertura e nativas sob a influência da adubação mineral e orgânica, quando cultivada em rejeito da mineração de quartzito, para apoiar ações de recuperação nas áreas degradadas.

## REFERÊNCIAS

- CULLEN, W.R.; WHEATER, C.P.; DUNLEAVY, P.J. Establishment of species-rich vegetation on reclaimed limestone quarry faces in Derbyshire, UK. **Biological Conservation**, Boston, v. 84, n.1, p.25-33, 1998.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; JONES, C.A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. New York: M. Dekker, 1991. 476p.
- NOVÁK, J., PRACH, K. Vegetation succession in basalt quarries: pattern on a landscape scale. **Applied Vegetation Science**, Knivsta, v.6, n.2, p.111-116, 2003.
- WILLIAMS, E.D. Changes during 3 years in the size and composition of seed bank beneath a long-term pasture as influenced by defoliation and fertilizer regime. **Journal of Applied Ecology**, London, v.21, n.2, p.603-615, 1984.
- YUAN, Y.J.G.; FANG, W.; FAN, L.; CHEN, Y.; WANG, D.Q.; YANG, Z.Y. Soil formation and vegetation establishment on the cliff face of abandoned quarries in the early stages of natural colonization. **Restoration Ecology**, Malden, v.14, n.3, p.349-356, 2006.

## ARTIGO CIENTÍFICO I

### CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DE REJEITO DA MINERAÇÃO DE QUARTZITO NO MUNICÍPIO DE DIAMANTINA (MG) E ENTORNO

#### RESUMO

A exploração de maciços de quartzitos na região de Diamantina tem proporcionado um impacto visual que é agravado na medida em que a grande maioria dos depósitos de rejeito de quartzito não é revegetado. O objetivo deste trabalho foi caracterizar o rejeito proveniente de áreas de mineração de quartzito no município de Diamantina (MG) e entorno por meio da avaliação química e granulométrica para subsidiar futuras estratégias de recuperação dessas áreas degradadas. Amostras de rejeito foram coletadas na camada superficial (0-0,20 m). Foram analisados os atributos químicos (pH, P, K, Ca, Mg, Al, H + Al, matéria orgânica) e granulométrico (cascalho/calhaus, areia, silte e argila). Por apresentarem características bastante distintas entre si devido à diversidade nos teores dos elementos encontrados nas diversas amostras de rejeito de quartzito, observou-se como consequência, elevado coeficiente de variação para a maioria dos atributos avaliados, exceto os dados de pH do solo, indicando alta heterogeneidade dos substratos. As amostras analisadas apresentaram baixos teores de matéria orgânica, P, K, Ca e Mg e alta acidez. Os rejeitos apresentaram granulometria que dificultam o crescimento do sistema radicular de plantas, o que indica sérias restrições ao estabelecimento de espécies vegetais.

**Palavras-chave:** fertilidade do solo, áreas degradadas, mineração.

## ABSTRACT

### GRANULOMETRIC AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE MINING OF QUARTZITE TAILINGS IN DIAMANTINA-MG AND ITS SURROUDINGS

The operation of mass in the region of quartzite in Diamantina has provided a visual impact that is exacerbated according as the most of the quartzite deposits is not revegetated. The objective of this study was to characterize the waste from mining areas of quartzite in Diamantina-MG and surroundings by evaluating chemical and particle size to support future strategies for the recovery of these degraded areas. Tailings samples were collected in the surface layer (0-0, 20m). It was analyzed the chemical (pH, P, K, Ca, Mg, Al, H Al, organic matter) and particle size distribution (gravel/pebbles, sand, silt and clay). Because they present characteristics quite distinct from each other due to the diversity in the levels of elements found in several samples of tailings quartzite, it was observed as a consequence of high coefficient of variation for most attributes, except the data of soil pH, indicating a high heterogeneity the substrates. The samples showed low levels of organic matter, P, K, Ca and Mg and high acidity. The tailings particle size showed that hinders the growth of the root system of plants, which indicates serious restrictions on the establishment of plant species.

**Keywords:** Soil fertility. Degraded areas. Mining.

## INTRODUÇÃO

O declínio da mineração de diamante na região de Diamantina (MG) e entorno, com a interrupção das descobertas e o gradativo esgotamento das minas em operação está levando a exploração de maciços de quartzitos.

Segundo Viana et al. (2007) este tipo de exploração tem proporcionado um impacto visual que é agravado na medida em que a grande maioria dos depósitos de rejeito não são revegetados por apresentarem condições de solo inóspito à colonização de espécies e a efetivação dos processos sucessionais.

Nos trabalhos executados com o objetivo de se recuperar áreas degradadas pela mineração, por meio de processos de revegetação, é de grande importância o conhecimento das características químicas e físicas dos materiais que irão ser utilizados como substrato para o crescimento e desenvolvimento das plantas (SILVA et al., 2006).

Da mesma forma que a exigência de fertilização nos plantios de enriquecimento para algumas espécies é alta, a disponibilidade de recursos financeiros para a recuperação dessas áreas é escassa. Assim o uso de fertilizantes deve ser realizado de maneira eficiente, determinando qual o nutriente deverá ser fornecida a planta, a melhor época e as quantidades corretas. Dessa forma, se faz necessário uma adequada recomendação da adubação, baseada na avaliação da fertilidade do substrato com o objetivo de identificar os fatores mais limitantes ao desenvolvimento das plantas em ambiente degradado pela mineração de quartzito a partir da análise química e granulométrica do rejeito.

O levantamento da fertilidade do solo pode determinar as correções necessárias antes da implantação de qualquer planta, visando sua exploração racional (FERNANDES, 1991). Nesta situação, a análise química constitui-se num meio rápido e eficiente de se avaliar a fertilidade do solo, predizendo a probabilidade de se obter uma resposta positiva ao emprego de corretivos e fertilizantes (FERREIRA et al., 1990).

A avaliação das características químicas e granulométricas do rejeito de quartzito provenientes das áreas mineradas da região permitirá identificar e conhecer os principais componentes do substrato que influenciam nas importantes características de recuperação dessas áreas degradadas, sendo fundamental para o sucesso da restauração. O banco de dados formado dos parâmetros que compõem a fertilidade do substrato poderá servir como ferramenta para futuras estratégias de ações que buscam a recuperação das áreas degradadas pela mineração de quartzito.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar o rejeito proveniente de áreas de mineração de quartzito no município de Diamantina (MG) e entorno por meio da avaliação química e granulométrica para subsidiar futuras estratégias de recuperação dessas áreas degradadas.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os rejeitos da mineração de quartzito caracterizados neste trabalho são provenientes de Empresas sediadas no município de Diamantina e entorno. O clima da região, segundo a classificação de Köppen é do tipo CWb, ou seja, temperado úmido, com inverno seco e chuvas no verão, apresenta uma precipitação média anual de 1.380 mm, com temperatura média anual variando entre 17,0 e 19,3 °C, índice pluviométrico entre 1.220 e 1.660 mm (AYOADE, 2011) e cobertura vegetal original representada pelo campo rupestre (GIULIETTI et al., 2000).

Foram coletadas 135 amostras simples na camada superficial (0-0,20 m) de rejeito de quartzito proveniente das áreas sob influência da mineração de quartzito, formando 27 amostras compostas de cada área de mineração de quartzito, que foram cuidadosamente homogeneizadas, seca ao ar e passada em peneira de malha de 2,0 mm, para posterior análise química.

As análises químicas do rejeito de quartzito foram: pH em água; P e K (Mehlich-1); Ca, Mg e Al (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); acidez potencial (H + Al) pelo acetato de cálcio, matéria orgânica (MO) pelo método Walkey-Black (SILVA, 2009).

Para a caracterização das frações granulométricas foram divididas em fração grosseira (partículas maiores que 2,0 mm de diâmetro) e em fração terra fina (partículas menores que 2,0 mm de diâmetro). A fração grosseira (cascalho/calhaus) foi separada por peneiramento (EMBRAPA, 1997). A fração terra fina (textura do solo) foi dividida em areia, silte e argila através do método da pipeta (EMBRAPA, 1997). Para a quantificação de ambas as frações, foi realizado o ajuste das percentagens em função da quantidade da fração terra fina. Os limites para interpretação dos resultados da textura do solo foram em dag kg<sup>-1</sup> de argila: 0-15 = textura arenosa; 15-35 = textura média; 35-60 = textura argilosa e 60-100 = textura muito argilosa (ALVAREZ V. et al., 1999). Os resultados da análise química foram ajustados para o todo da constituição granulométrica dos rejeitos de quartzito de cada área de mineração.

De posse dos 27 resultados de análise química e frações granulométricas do rejeito de cada área foi determinado para cada atributo, o valor mínimo, máximo, média e mediana; com intervalo de confiança a 5% para média e coeficiente de variação. A partir dos resultados de análise química foi realizado um estudo de distribuição de frequência. Os critérios utilizados

para interpretação da fertilidade do rejeito de quartzito das análises químicas seguiram os adotados pelos laboratórios integrados ao PROFERT-MG, da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (ALVAREZ V. et al., 1999) (Tabela 1).

Tabela 1. Limites de interpretação do nível de fertilidade do solo adotados pelos laboratórios integrados ao PROFERT-MG da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais.

Acidez ativa (pH) <sup>1/</sup>		Muito baixo	Baixo	Bom	Alto	Muito Alto	
		< 4,5	4,5 - 5,4	5,5 - 6,0	6,1 - 7,0	> 7,0	
Atributo	Unidade	Muito baixo	Baixo	Médio	Bom	Muito Bom	
Fósforo disponível (P) <sup>2/</sup>	Textura muito argilosa	mg dm <sup>-3</sup>	≤ 2,7	2,8 - 5,4	5,5 - 8,0	8,1 - 12,0	> 12,0
	Textura argilosa	mg dm <sup>-3</sup>	≤ 4,0	4,1 - 8,0	8,1 - 12,0	12,1 - 18,0	> 18,0
	Textura média	mg dm <sup>-3</sup>	≤ 6,6	6,7 - 12,0	12,1 - 20,0	20,1 - 30,0	> 30,0
	Textura arenosa	mg dm <sup>-3</sup>	≤ 10,0	10,1 - 20,0	20,1 - 30,0	30,1 - 45,0	> 45,0
Potássio disponível (K <sup>+</sup> ) <sup>2/</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	≤ 0,04	0,05 - 0,10	0,11 - 0,18	0,19 - 0,31	> 0,31	
Cálcio trocável (Ca <sup>2+</sup> ) <sup>3/</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	≤ 0,40	0,41 - 1,20	1,21 - 2,40	2,41 - 4,00	> 4,00	
Magnésio trocável (Mg <sup>2+</sup> ) <sup>3/</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	≤ 0,15	0,16 - 0,45	0,46 - 0,90	0,91 - 1,50	> 1,50	
Acidez trocável (Al <sup>3+</sup> ) <sup>3/</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	≤ 0,20	0,21 - 0,50	0,51 - 1,00	1,01 - 2,00 <sup>10</sup>	> 2,00 <sup>10</sup>	
Acidez potencial (H + Al) <sup>4/</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	≤ 1,00	1,01 - 2,50	2,51 - 5,00	5,01 - 9,00 <sup>10</sup>	> 9,00 <sup>10</sup>	
CTC efetiva (t) <sup>5/</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	≤ 0,80	0,81 - 2,30	2,31 - 4,60	4,61 - 8,00	> 8,00	
CTC pH 7 (T) <sup>6/</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	≤ 1,60	1,61 - 4,30	4,31 - 8,60	8,61 - 15,00	> 15,00	
Saturação por Al <sup>3+</sup> (m) <sup>7/</sup>	%	≤ 15,0	15,1 - 30,0	30,1 - 50,0	50,1 - 75,0 <sup>10</sup>	> 75,0 <sup>10</sup>	
Saturação por bases (V) <sup>8/</sup>	%	≤ 20,0	20,1 - 40,0	40,1 - 60,0	60,1 - 80,0	> 80,0	
Matéria orgânica (M.O.) <sup>9/</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	≤ 0,70	0,71 - 2,00	2,01 - 4,00	4,01 - 7,00	> 7,00	

<sup>1/</sup>pH em H<sub>2</sub>O: relação 1:2,5 (TFSA:H<sub>2</sub>O). <sup>2/</sup>Método Mehlich-1. <sup>3/</sup>Método KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. <sup>4/</sup>Método Ca(OAc)<sub>2</sub> 0,5mol L<sup>-1</sup> pH 7. <sup>5/</sup>t = Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup> + Al. <sup>6/</sup>T = Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup> + (H + Al). <sup>7/</sup>m = 100 Al<sup>3+</sup>/t. <sup>8/</sup>V = 100 (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup>)/T. <sup>9/</sup>Método Walkley & Black. M.O. = 1,724 x C.O. (carbono orgânico). <sup>10/</sup>A interpretação destas características, nestas classes, deve ser alta e muito alta em lugar de bom e muito bom.

## RESULTADO E DISCUSSÃO

Os atributos do solo analisado foram similares nos valores da média e mediana (Tabela 2), isto indica que as medidas de tendência central não são dominadas por valores atípicos na distribuição (CAMBARDELLA et al., 1994; CORÁ et al., 2004). Um conjunto de dados tem distribuição normal quando os valores de sua média e mediana apresentam valores semelhantes (SILVA et al., 2003).

O maior valor de coeficiente de variação (CV) foi para Al trocável, de 99,9%, mostrando grande variação nas áreas de mineração de quartzito (Tabela 2). Com base no critério de Warrick e Nielsen (1980), as variáveis acidez potencial (H + Al), capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva (t), CTC pH 7 (T), saturação por bases (V%), fração grosseira (cascalho/calhaus) e teor de areia e silte apresentaram CV médios (28,82 a 45,80%), enquanto pH em água apresentou CV considerado baixo (9,16 %) e os demais atributos com CV altos (56,28 a 99,86%). Comportamento semelhante foi encontrado na avaliação da fertilidade de solos construídos em áreas de mineração de carvão (COSTA e ZOCCHÉ, 2009). Devido às várias combinações a que estão sujeitos os elementos do solo e às constantes reações químicas

que ocorrem na solução do solo, os atributos químicos apresentam maior variação do que os físicos e, conseqüentemente, necessitam de maior número de amostras para estimá-los dentro da mesma área (JACOB e KLUTTE, 1976).

Tabela 2. Parâmetros estatísticos dos atributos químicos e granulométricos dos rejeitos das áreas de extração de quartzito da região de Diamantina (MG).

Atributo	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Intervalo de confiança (P < 0,05)	CV (%)
pH em água	4,30	5,90	5,24	5,20	5,06 - 5,43	9,16
P (mg dm <sup>-3</sup> )	0,17	4,03	0,97	0,76	0,67 - 1,27	81,57
K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,001	0,028	0,011	0,010	0,008 - 0,014	70,54
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,11	1,50	0,59	0,44	0,45 - 0,74	64,19
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,04	0,56	0,25	0,22	0,19 - 0,30	56,28
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,03	0,73	0,17	0,13	0,11 - 0,24	99,85
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,33	0,99	0,71	0,73	0,63 - 0,79	28,82
t (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,31	1,97	1,03	0,94	0,85 - 1,20	45,80
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,65	2,49	1,71	1,54	1,37 - 1,75	32,04
m (%)	1,49	56,32	20,31	14,94	13,65 - 26,97	86,92
V (%)	19,48	83,90	50,94	46,48	44,73 - 57,16	32,34
M.O. (dag kg <sup>-1</sup> )	0,17	2,10	0,68	0,65	0,52 - 0,83	61,10
Cascalho/Calhaus (dag kg <sup>-1</sup> )	26,0	75,0	46,7	45,0	40,9 - 52,5	32,78
Areia (dag kg <sup>-1</sup> )	11,8	62,6	43,5	47,9	37,4 - 49,5	36,83
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	1,5	12,4	8,0	8,2	7,0 - 9,0	33,32
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	0,4	7,9	2,6	2,3	1,8 - 3,3	76,88

pH<sub>água</sub>: Relação solo-água 1:2,5. P e K: Extrator Mehlich-1. Ca, Mg e Al: Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. t: Capacidade de troca de cátions efetiva. T: Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. m: Saturação de alumínio. V: Saturação por bases. MO: Matéria orgânica determinado pelo método Walkley-Black. Cascalho/calhaus: Tamisação em peneira de 2,0 mm. Areia, silte e argila: Método da pipeta.

Os valores altos do coeficiente de variação (Tabela 2) indicam a ocorrência de locais nas áreas de mineração de quartzito com valores altos ou baixos das variáveis analisadas, o que indica alta heterogeneidade dos substratos. As concentrações de determinados elementos no solo de ecossistemas tropicais são extremamente variáveis, refletindo o material de origem ou o substrato subjacente, a topografia, a pluviosidade, a vegetação e diversos fatores do meio que interagem com o solo (HAAG, 1985).

A fração grosseira (cascalho/calhaus) no substrato representa mais de 50%, em média, da fração granulométrica dos rejeitos das áreas de mineração de quartzito avaliadas (Tabela 2). Rejeitos com partículas mais grosseiras formam substratos de elevada macroporosidade, baixa microporosidade e capacidade de retenção de cátions e água. A elevada presença de cascalho/calhaus nessas áreas é creditada ao beneficiamento das pedreiras que corta grandes lajotas de quartzito de interesse comercial. O material rejeitado é depositado e posteriormente sofre remobilização durante a atividade de lavra. A fração argila, característica física que classifica a textura do solo, apresenta em média de 2,6 dag kg<sup>-1</sup> (Tabela 2), sendo que as áreas avaliadas com classe textural arenosa (EMBRAPA, 1997). O menor teor de argila nos rejeitos

deve-se ao material de origem de quartzito e diluição da argila durante a remobilização do material depositado.

A composição mineral de quartzito pode levar uma variação nas áreas de sua extração devido a heterogeneidade tanto na sua macroestrutura (cor, tamanho de grão, poros, textura, presença de inclusões e as rachaduras, a natureza de fraturas, a distribuição de impurezas, etc) quanto na sua composição química e mineral (PEREPELITSYN et al., 1997). Em ecossistemas degradados, essas diferenças são marcantes e influenciam na tomada de decisão em programas de recuperação, e o conhecimento do solo/substrato onde se pretende realizar atividades de restauração é de fundamental importância (FONTES, 1991).

De acordo com limites de interpretação do nível de fertilidade do solo adotados pelos laboratórios integrados ao PROFERT-MG da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (ALVAREZ et al., 1999), observa-se que 63% dos rejeitos das áreas de mineração de quartzito amostrados apresentam acidez ativa elevada com valores de pH menor 5,4 (Figura 1a). Este valor de pH abaixo de 5,4 é considerado muito baixo a baixo segundo a interpretação de Alvarez et al. (1999), sendo pH que restringe o crescimento das plantas. Resultados semelhantes foram encontrados em rejeito da mineração de ouro em que o pH em água foi em torno de 4,4; que reflete a acidez elevada deste rejeito, o que pode ser resultado da oxidação de sulfetos (SILVA et al., 2004). Em áreas de mineração de cassiterita ao longo de uma linha, os valores de pH que variaram de 3,7 a 4,8 compreendendo floresta, capoeira, piso de lavra, área de deposição de rejeito seco e área de deposição de rejeito arenoso, mostrou-se ácidos em todas as situações avaliadas ( $< 5,0$ ) (LONGO et al., 2005).

Os baixos valores de pH dos rejeitos amostrados nas áreas mineradas de quartzito, devem-se ao fato que os solos brasileiros são ácidos pela alta ocorrência de precipitação pluviométrica e pela própria pobreza em bases do material de origem (CUSTÓDIO et al., 2002; FREITAS et al., 2006) e, conseqüentemente a diminuição do pH, necessitando assim de adequada correção para a recuperação dessas áreas degradadas pela mineração de quartzito. O pH do solo baixo pode resultar em problemas para a revegetação, uma vez que nessa situação, influencia a disponibilidade de nutrientes (WONG, 2003; PASCHKE et al., 2005). Desse modo, a prática da calagem deve ser recomendada, antes de inseri no processo de restauração da vegetação sobre os rejeitos de quartzito. Em termos nutricionais, para as plantas a faixa ideal de pH situa-se entre 5,6 e 6,2, pois a maioria dos nutrientes estão em forma disponível na solução do solo (MARSCHNER, 2002). Porém, uma gama de espécies tolera pH na faixa de 4,2 a 5,0 (COSTA e ZOCHE, 2009), pois elas apresentam capacidade de alterar o pH na

rizosfera, além de possuírem mecanismos internos nas raízes para tolerar elevada acidez (FOY, 1988).

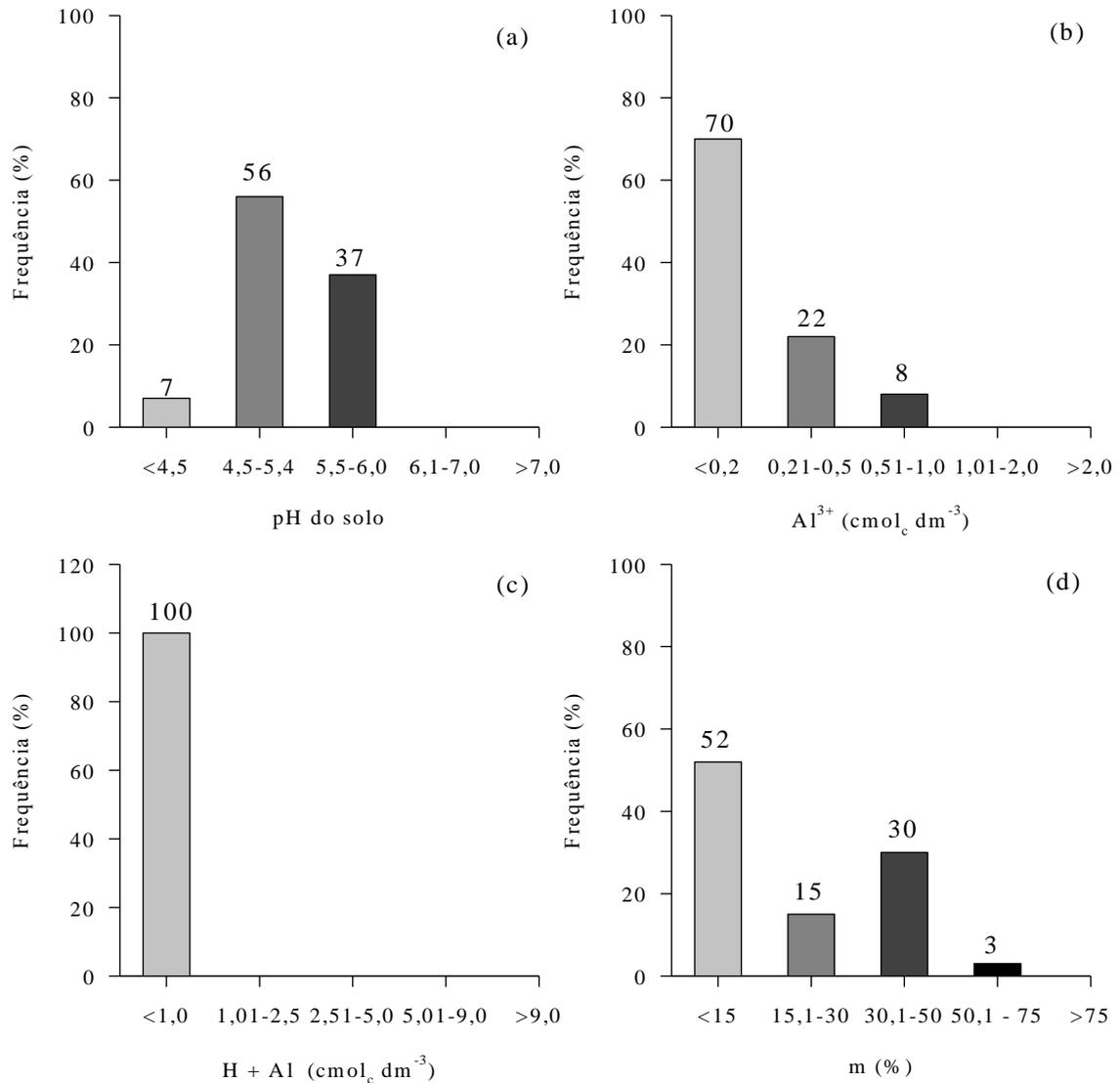


Figura 1. Distribuição de frequência dos atributos: pH do solo (a), Al trocável (b), acidez potencial (c) e saturação de alumínio (d) dos rejeitos das áreas de extração de quartzito da região de Diamantina (MG).

As áreas de mineração de quartzito apresentaram 100% das amostras analisadas dos rejeitos foram classificadas como muito baixa acidez potencial (H + Al) (Figura 1c), o qual pode ser explicado pela alta proporção (92%) das áreas com teores de  $Al^{3+}$  trocável na faixa muito baixa a baixa, isto é, acidez trocável (Figura 1b). Isto era esperado pelo fato da acidez potencial referir-se ao total de  $H^+$  em ligação covalente, mais o  $Al^{3+}$ , ou seja, a soma da acidez não-trocável e trocável (SILVA et al., 2006a; SILVA et al., 2008). O baixo teor de  $Al^{3+}$  trocável nos rejeitos de quartzito (Figura 1b) refletiu em maior porcentagem (82%) de áreas

de mineração com valores de saturação de Al (m) na faixa de muito baixa a baixa (Figura 1d). Esses resultados, aliados aos baixos valores de pH (Figura 1a) e de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocável (Figuras 2a e 2b), reforçam a importância da prática da calagem, somente para elevar a disponibilidade de nutrientes para plantas no processo de recuperação das áreas degradadas pela mineração de quartzito.

Quanto as bases trocáveis dos rejeitos, todas as áreas de mineração de quartzito apresentaram menos de  $0,04 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de  $\text{K}^+$  (Figura 2a), que foram enquadrados na faixa de teor muito baixo (ALVAREZ V. et al., 1999), conforme encontrado também por Silva et al. (2004) em áreas de mineração de ouro com teores baixos. O teor de K muito baixo nas áreas de mineração de quartzito representa, portanto, um fator limitante para o crescimento de espécies vegetais nessas áreas mineradas, evidenciando a necessidade de adubação potássica. Analisando-se os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  trocável, as áreas apresentaram menos de  $1,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  do macronutriente, os resultados para este elemento evidenciam que 93% estão abaixo deste valor (Figura 2b), sendo considerado teores baixos nos rejeitos de quartzito. Da mesma forma, os teores de  $\text{Mg}^{2+}$  trocável nas áreas apresentaram a maior porcentagem das amostras analisadas (93%) com teores abaixo de  $0,45 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (Figura 2c). As análises químicas do rejeito de mineração de ouro foram encontrados teores superiores de Ca ( $1,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e Mg ( $0,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) (SILVA et al., 2004). Assim, como já foi mencionado anteriormente a aplicação de Ca e Mg através da calagem com aplicação do calcário dolomítico faz-se necessário para fornecimento destes macronutrientes para recuperação destas áreas degradadas.

Todas as áreas de mineração de quartzito apresentaram valores de 2,3 e  $4,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de CTC efetiva (t) e CTC pH 7 (T), respectivamente (Figuras 3a e 3b) que enquadram em valores muito baixo a baixo (ALVAREZ et al., 1999). A baixa capacidade de troca de cátions (T) refletiu a pobreza de bases trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ ) nessas áreas de mineração de quartzito no município de Diamantina e entorno. Também, os baixos valores de T refletem na maior porcentagem (85%) das áreas de mineração de quartzito com valores de saturação por bases (V) acima de 40%.

Os teores de matéria orgânica (MO) como eram de se esperar demonstraram que 96% das áreas amostradas (Figura 3c) apresentaram teores muito baixos a baixos (menor que  $2,0 \text{ dag kg}^{-1}$ ). Resultados semelhantes de teor baixo de MO foram encontrados de  $0,5 \text{ dag kg}^{-1}$  (SILVA et al., 2004); de  $0,68 \text{ dag kg}^{-1}$  (COSTA e ZOCHE, 2009) e de  $1,37 \text{ dag kg}^{-1}$  (FAVARETTO et al., 2000) em áreas degradadas pela mineração de xisto e com teor superior ao presente trabalho de  $3,2 \text{ g kg}^{-1}$  em áreas de mineração de bauxita sob diferentes

fitofisionomias, idades e condições de reabilitação (MELLONI et al., 2006). Estes teores estão relacionados com as características de textura arenosa dos rejeitos de quartzito das áreas de mineração (Tabela 2), bem como em virtude do próprio processo de extração do minério que envolve a supressão da vegetação original.

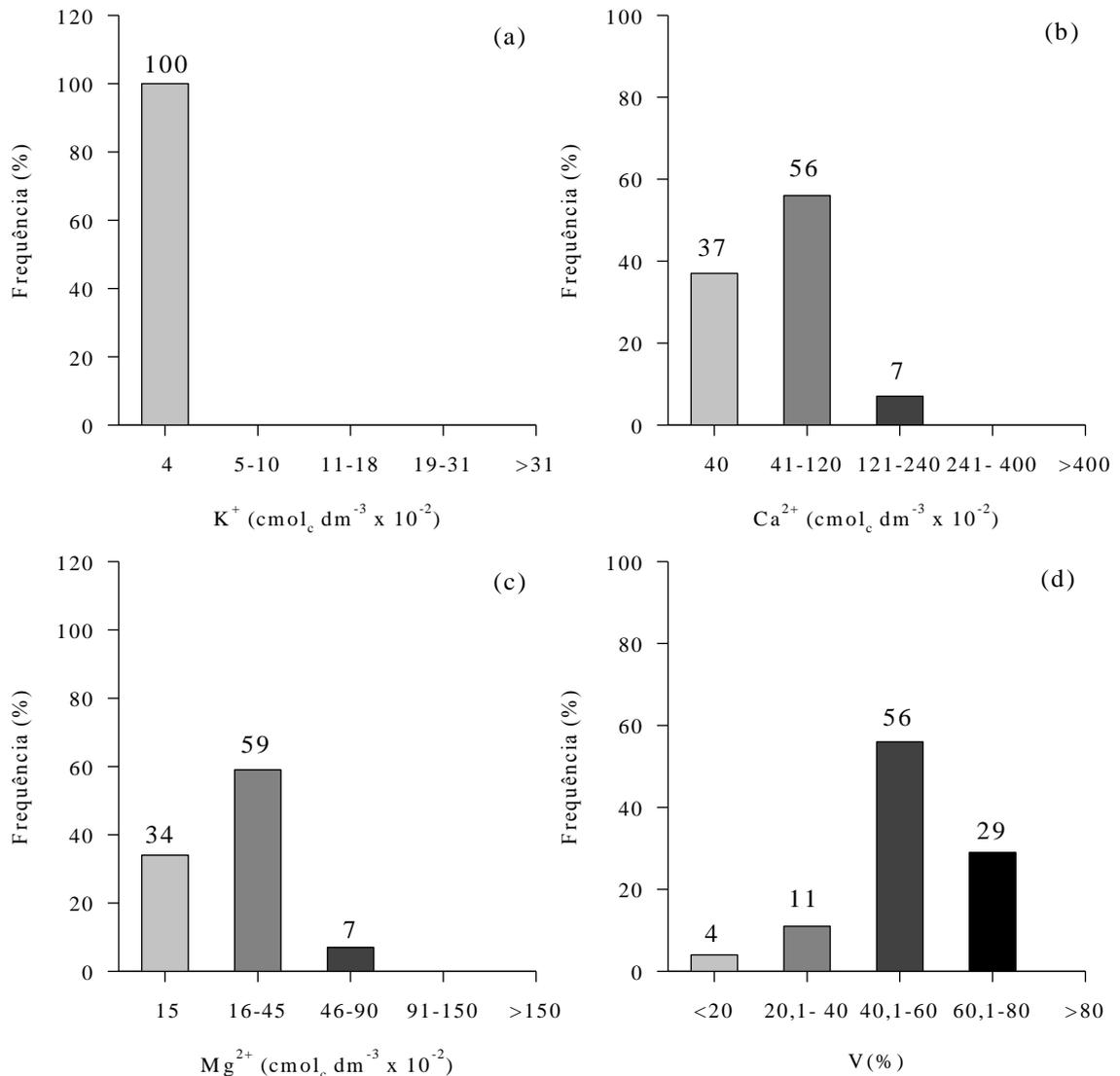


Figura 2. Distribuição de frequência dos atributos: teores de potássio (a), cálcio (b), magnésio (c) e saturação por bases (d) dos rejeitos das áreas de extração de quartzito da região de Diamantina (MG) e entorno.

Os solos com alta CTC devem apresentar alto teor de argila ou de matéria orgânica (GONÇALVES et al., 2003). Sendo o teor de argila e de matéria orgânica atributos que determinam as propriedades químicas, físicas e biológicas de um solo, como a estrutura, capacidade de retenção de água, disponibilidade de nutrientes para as plantas e a capacidade de reter cátions (LUCHESE et al., 2002) com importância para a manutenção da fertilidade do solo (COSTA e ZOCHE, 2009). Tais características devem ser consideradas nos programas

de recuperação dessas áreas (LONGO et al., 2005). Estratégias para aumentar os teores de matéria orgânica nessas áreas deverão ser realizadas, seja através da aplicação de compostos orgânicos, ou pelo uso de técnicas que promovam o aumento de matéria orgânica.

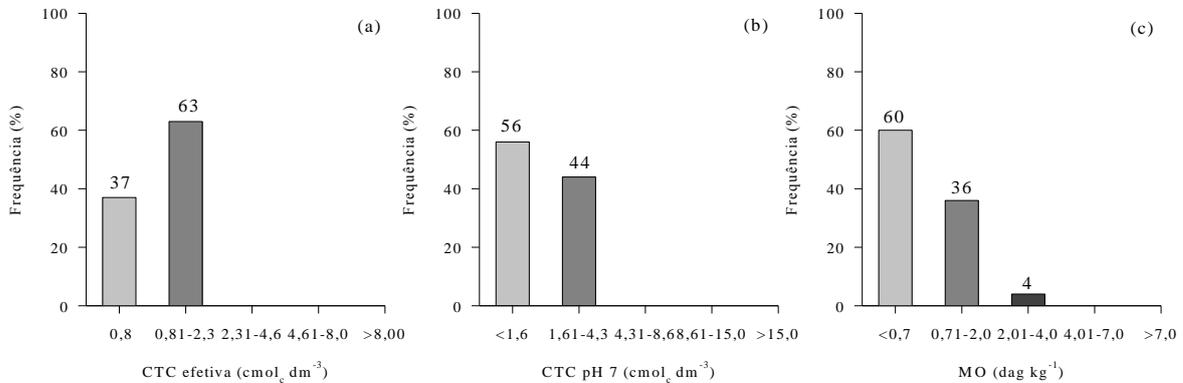


Figura 3. Distribuição de frequência dos atributos: CTC efetiva (a), CTC pH 7 (b) e matéria orgânica (c) dos rejeitos das áreas de extração de quartzito da região de Diamantina (MG).

A capacidade tampão de fósforo (P) do solo tem grande influência na eficiência de extração do P disponível pelo extrator Mehlich-1, sendo utilizado para interpretação características do solo que se correlacionam com esta propriedade, como teor de argila e P remanescente (NOVAIS e SMYTH, 1999; OLIVEIRA et al., 2000). De acordo com Alvarez et al. (1999), todas as áreas de mineração de quartzito foram classificadas como textura arenosa com teor de argila nos rejeitos abaixo de 15 dag kg<sup>-1</sup> (Figura 4a). Baseado na classificação da textura dos rejeitos das áreas de mineração de quartzito, o P foi o elemento que teve todas as áreas com teor muito baixo desse nutriente, menor ou igual a 10,0 mg dm<sup>-3</sup> para textura arenosa. Resultados semelhantes foram encontrados em rejeito da mineração de ouro com teor abaixo de 3,1 mg dm<sup>-3</sup> de P (SILVA et al., 2004); em áreas de mineração de carvão com valores abaixo de 3,8 mg dm<sup>-3</sup> (COSTA e ZOCHE, 2009) e em rejeitos da mineração de ferro em torno de 4,0 mg dm<sup>-3</sup> (SILVA et al., 2006b). Desta forma, as áreas de mineração de quartzito apresentaram deficiência generalizada deste nutriente que é o mais importante fator nutricional que restringe o crescimento vegetal em solos tropicais (SKREBSKY et al., 2008). Este resultado reflete a necessidade de adubação fosfatada para o estabelecimento e manutenção de espécies potenciais para serem usadas em programas de restauração ecológica.

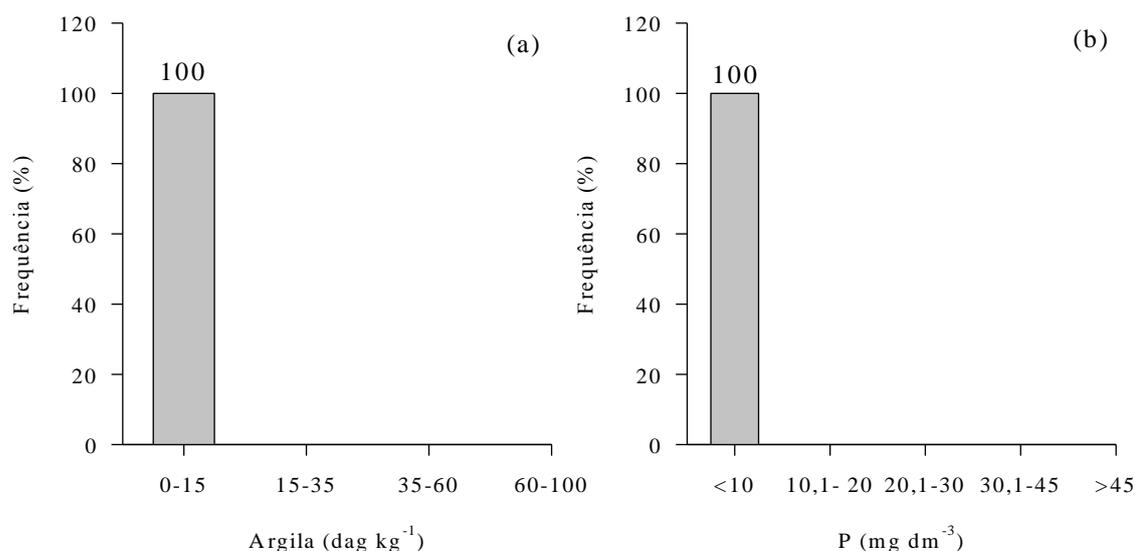


Figura 4. Distribuição de frequência dos atributos: teores de argila (a) e fósforo (P) disponível (b) dos rejeitos das áreas de extração de quartzito da região de Diamantina (MG).

Os limites dos atributos do solo utilizados para análise da fertilidade dos rejeitos das áreas de mineração de quartzito são baseados em critérios agronômicos padronizados para solos agrícolas e não para áreas influenciadas pela mineração (COSTA e ZOCHE, 2009). Apesar disto, devido aos limites específicos, os resultados de trabalhos que levem em consideração parâmetros físicos e a fertilidade de solo influenciado pela mineração são de extrema importância (SILVA et al., 2004). Desta forma, a interpretação utilizada para solos agrícolas do Estado de Minas Gerais (ALVAREZ et al., 1999), podem-se classificar que os rejeitos das áreas de mineração de quartzito no município de Diamantina apresentam baixa fertilidade, havendo a necessidade de aplicação de corretivos e adubação mineral e elevação do teor de matéria orgânica.

## CONCLUSÕES

1. Os atributos químicos do rejeito da mineração de quartzito evidenciam a alta limitação ao crescimento de plantas a serem usadas para revegetação, apresentando como restrições os baixos teores de P, K, Ca, Mg, matéria orgânica e elevada acidez. Além de apresentar textura e granulometria que dificultam o crescimento do sistema radicular de plantas, o que indica sérias restrições ao estabelecimento de espécies vegetais.

2. Os resultados deste estudo oferecem aos responsáveis por trabalhos de restauração de áreas degradadas decorridas da atividade de exploração mineral dados da fertilidade dos rejeitos sendo possível traçarem estratégias de ações em relação à correção da acidez do solo,

adubação e manejo da matéria orgânica nessas áreas degradadas na região de Diamantina (MG), podendo este trabalho ser referencia para projetos que visem à restauração.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de mestrado. A Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri pela infraestrutura necessária para a condução do experimento.

## REFERÊNCIAS

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.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 15.ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 2011. 332p.

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.1501-1511, 1994.

CORA, J.E.; ARAUJO, A.V.; PEREIRA, G.T.; BERALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-deaçúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.6, p.1013-1021, 2004.

COSTA, S.; ZOCHE, J.J. Fertilidade de solos construídos em áreas de mineração de carvão na região sul de Santa Catarina. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, n.4, p.665-674, 2009.

CUSTÓDIO, C.C.; BOMFIM, D.C.; SATURNIMO, S.M.; NETO, N.B.M. Estresse por alumínio e por acidez em cultivares de soja. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.59, n.1, p.145-153, 2002.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Produção de Informação, 1997. 212p.

FAVARETTO, N.; MORAES, A.; MOTTA, A.C.V.; PREVEDELLO, B.M.S. Efeito da revegetação e da adubação de área degradada na fertilidade do solo e nas características da palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.2, p.289-297, 2000.

FERNANDES, V.L.B. **Levantamento do nível de fertilidade dos solos das vilas colonizadas da Serra do Mel**. Mossoró: ESAM/Fundação Guimarães Duque, 1991. 66p. (Coleção Mossoroense)

FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; FERREIRA, M.E. **Avaliação da fertilidade empregando o sistema IAC de análise de solo**. Jabotical: FCAV, 1990. 94p.

FONTES, M.P.F. Estudo pedológico diminui impactos da mineração. **Revista Ambiente**, São Paulo, v.5, n.1, p.58-62, 1991.

FOY, C.D. Plant adaptation to acid, aluminum-toxic soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 19, n.7-12, p. 959-987, 1988.

FREITAS, F.A.; KOPP, M.M.; SOUSA, R.O.; ZIMMER, P.D.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C. Absorção de P, Mg, Ca e K e tolerância de genótipos de arroz submetidos a estresse por alumínio em sistema hidropônicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.1, p.72-79, 2006.

GIULIETTI, A.M.; HARLEY, R.M.; QUEIROZ, L.P.; WANDERLEY, M.G.L.; PIRANI, J. R. Caracterização e endemismos nos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. In: CAVALCANTI, T.B.; WALTER, B. M.T. (org.). **Tópicos atuais em botânica**. 1ª ed. Brasília: SBB/CENARGEN, 2000. p. 311-318.

GONÇALVES, J.M.L.; NOGUEIRA JÚNIOR, L.R.; DUCATTI, F. Recuperação de solos degradados. In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E.; MORAIS, L.F.D.; ENGEL, V.L.; GANDARA, F.B. (Orgs.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. p.111-163.

HAAG, H.P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 162p.

JACOB, W.L.; KLUTTE, A. Sampling soils for physical and chemical properties. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.20, n.1, p.170-178, 1976.

LONGO, R.M; RIBEIRO, A.I; MELO, W.J. Caracterização física e química de áreas mineradas pela extração de cassiterita. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.1, p.101-107, 2005.

LUCHESE, E.B.; FAVERO, L.O.B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo: teoria e prática**. 2.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2002. 182p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 2002. 889p

MELLONI, R.; MOREIRA, F.M.S.; NOBREGA, R.S.A.; SIQUEIRA, J.O. Eficiência e diversidade fenotípica de bactérias diazotróficas que nodulam caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp e feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) em solos de mineração de bauxita em reabilitação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.2, p.235-246, 2006.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, UFV, 1999. 399p.

OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NEVES, J.C.L. Comparisons of phosphorus availability between anion exchange resin and Mehlich-1 extractions among Oxisols with different capacity factors. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.31, n.5-6, p.615-630, 2000.

PASCHKE, M.W.; VALDECANTOS, A.; REDENTE, E.F. Manganese toxicity thresholds for restoration grass species. **Environmental Pollution**, Barking, v.135, n.2, p.313-322, 2005.

PEREPELTSYN, V.A.; KARPETS.; L.A.; RECHNEVA, L.A.; KHISAEV, A.R. Mineral composition of the quartzites and enclosing rocks of the Karaul'naya deposit. **Refractories and Industrial Ceramics**, Berlin, v.38, n.5-6, p.27-32, 1997.

SILVA, E.B.; COSTA, H.A.O.; FARNEZI, M.M.M. Acidez potencial estimada pelo método do pH SMP em solos da região do Vale do Jequitinhonha no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.5, p.751-757, 2006a.

SILVA, E.B.; SILVA, A.C.; GRAZZIOTTI, P.H.; FARNEZI, M.M.M.; FERREIRA, C.A.; COSTA, H.A.O.; HORAK, I. Comparação de métodos para estimar a acidez potencial mediante determinação do pH SMP em Organossolos da Serra do Espinhaço Meridional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.5, p.2007-2013, 2008.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2009. 627p.

SILVA, G.P.; FONTES, M.P.F.; COSTA, L.M.; BARROS, N.F. Caracterização química, física e mineralógica de estéreis e rejeito de mineração de ferro da mina de Alegria, Mariana-MG. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiás, v.36, n.1, p.45-52, 2006b.

SILVA, S.R.; PROCÓPIO, 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, n.1, p.189-196, 2004.

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1013-1020, 2003.

SKREBSKY, E.C.; NICOLOSO, F.T.; MALDANER, J.; RAUBER, R.; CASTRO, G.Y.; JUCOSKI, G.O.; SANTOS, D.R. Caracterização das exigências nutricionais de plantas de *Puffia glomerata* em Argissolo Vermelho distrófico arênico pela técnica do nutriente faltante. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.4, p.989-996, 2008.

VIANA, M.B. **Licenciamento ambiental de minerações em Minas Gerais: novas abordagens de gestão**. Brasília: UnB, 2007. 305f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília. 2007.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (ed.) **Application of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p.319-344.

WONG, M.H. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. **Chemosphere**, Oxford, v.50, n.66, p.775-78

## ARTIGO CIENTÍFICO II

### CRESCIMENTO DE *Brachiaria brizantha* PELA ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA EM REJEITO DA MINERAÇÃO DE QUARTZITO

#### RESUMO

Com o objetivo de avaliar o comportamento da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sob a influência da adubação mineral e orgânica, quando cultivada em rejeito da mineração de quartzito, conduziu-se um experimento em casa de vegetação em delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de cinco combinações de adubação orgânica (AO) e mineral (AM) e um tratamento adicional do rejeito sem AO e AM (Testemunha). As combinações foram: 0%AO/100%AM; 25%AO/75%AM; 50%AO/50%AM; 75%AO/25%AM; 100%AO/0% AM. As doses de 100% de AM e AO foram de 50 kg N, 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 40 kg K<sub>2</sub>O e 10 t de esterco de curral por ha. As variáveis avaliadas foram peso de massa seca (parte aérea, raiz e total) e teores e acúmulos de nutrientes. A *B. brizantha* cv. Marandu respondeu a AM e AO com as doses recomendadas de 37 kg N, 37 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 30 kg K<sub>2</sub>O e 2,6 t esterco de curral por ha. As doses de AM e AO aplicada ao rejeito de quartzito influenciou o estado nutricional da forrageira. O acúmulo de nutrientes na forrageira nas doses recomendadas se deu na seguinte ordem na parte aérea: N > K > P > S > Ca > Mn > B > Fe > Zn > Cu e nas raízes: N > S > K > Ca > Mg > P > Fe > Mn > B > Cu > Zn.

**Palavras-chave:** Área degradada, estado nutricional, acúmulo de nutrientes.

## ABSTRACT

### **GROWTH OF *Brachiaria brizantha* BY MINERAL AND ORGANIC FERTILIZATION IN TAILING OF THE QUARTZITE MINING**

In order to evaluate the behavior of *Brachiaria brizantha* cv. *Marandu* beneath the influence of mineral fertilizer and organic, when grown in tailing of the quartzite mining, it was conducted the experiment at greenhouse in a completely randomized design with four replications. The treatments consisted of five combinations of mineral (MF) and organic (OF) fertilization and an additional treatment of the tailing without MF and OF (Witness). The combinations were: 0%OF/100%MF; 25%OF/75%MF; 50%OF/50%MF; 75%OF/25%MF; 100%OF/0% MF. Doses of 100% MF and OF were 50kg N, 50kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 40kg K<sub>2</sub>O and 10t bovine manure per ha. The variables evaluated were dry matter weight (shoot, root and total) and nutrients contents and accumulation. *B. brizantha* cv. *Marandu* responded to MF and OF with the recommended doses of 37kg N, 37kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 30kg K<sub>2</sub>O and 2.6t bovine manure per ha. The doses of MF and OF applied to tailing quartzite influenced the nutritional status of the forage. The accumulation of nutrients in the forage at recommended doses was in the following order was in shoot: N > K > P > S > Ca > Mn > B > Fe > Zn > Cu and roots: N > S > K > Ca > Mg > P > Fe > Mn > B > Cu > Zn.

**Keywords:** Degraded area. Nutritional status. Nutrients accumulation.

## INTRODUÇÃO

O declínio da mineração de diamante na região de Diamantina (MG), com a interrupção das descobertas e o gradativo esgotamento das minas em operação está levando a descoberta e a exploração de maciços de quartzito havendo a geração e a disposição irregular de um grande volume de rejeito que descaracterizam a paisagem local. O abandono de inúmeras pedreiras em muitos países representa um desafio para a recuperação dessas áreas degradadas (YUAN et al., 2006).

A exploração de pedreiras propicia a degradação da vegetação existente, a composição do solo e de sua estrutura criando um ambiente inóspito ao crescimento de muitas plantas devido à baixa capacidade de retenção de água e incapacidade de fornecer nutrientes as plantas, por ser um ambiente extremamente pobre em nutrientes (WILLIAMSON et al., 2011). A colonização natural em ambientes de exploração de pedreiras ocorre de forma lenta (CULLEN et al., 1998), e é agravada pela ausência total de matéria orgânica, baixa fertilidade, excesso de acidez, justificando assim, o uso de gramíneas no estágio inicial da recuperação. Assim, em fases iniciais de recuperação, o objetivo prioritário é a reabilitação da função e dos serviços do ecossistema, sendo urgente a amenização dos agentes impactantes, por meio de ações que promovam a cobertura imediata do solo (ROVEDDER e ELTZ, 2008).

As forrageiras de cobertura são de grande interesse nesse processo de recuperação uma vez que exercem papel na reconstituição das características físico-químicas do substrato, na reciclagem de nutrientes, na melhoria do aporte de matéria orgânica e na melhoria da fertilidade (FAGERIA et al., 1991; NOVÁK e PRACH, 2003) viabilizando, com isso o estabelecimento de espécies vegetais mais exigentes (BAGGIO e CARPANELLI, 1987).

Para garantir o sucesso da ação antrópica na recuperação de áreas degradadas, em fase inicial, é necessário selecionar espécies vegetais rústicas capazes de produzir grande quantidade de matéria seca (MEDEIROS et al., 1987). A *Brachiaria brizantha*, apresenta estes atributos, mas, no entanto, não se conhece o comportamento dessa espécie sob influência da adubação orgânica e mineral em ambiente degradado pela mineração de quartzito. O efeito recuperador da adubação mineral e orgânica nas características químicas do solo em área degradada foi observado por Lucchesi et al. (1998), Melo et al. (1994) e Motta Neto et al. (1995).

Assim o objetivo do trabalho foi de avaliar o comportamento da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sob a influência da adubação mineral e orgânica, quando cultivada em rejeito da mineração de quartzito, para apoiar ações de recuperação nas áreas degradadas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de outubro de 2010 a fevereiro de 2011, em condições de casa de vegetação no Campus JK da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), em Diamantina, MG, Brasil (18°12'S; 43°34'W e altitude de 1.370m).

Para instalação do experimento foi trazido das áreas de exploração localizadas no município de Diamantina (MG), o rejeito da mineração de quartzito, do qual foi retirada uma amostra para análise química e de textura do substrato. A amostra do substrato foi seca ao ar e passada em peneira de 2,0 mm de abertura, sendo posteriormente submetida a análises química (pH, P, K, Ca, Mg, Al, H + Al e matéria orgânica) (SILVA, 2009) e de textura (EMBRAPA, 1997) (Tabela 1). Os resultados da análise química foram ajustados para o todo da constituição granulométrica dos rejeitos de quartzito.

Tabela 1. Análise química e de textura do rejeito da mineração de quartzito.

pH <sub>água</sub>	P	K	Ca	Mg	Al	T	m	V	MO	Cascalho/ Calhaus	Areia	Silte	Argila
	- mg dm <sup>-3</sup> -		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				----	----- % -----	----- g kg <sup>-1</sup> -----				
5,0	1,2	5,3	0,5	0,2	0,2	1,7	24	41	7,1	340,4	554,0	99,0	6,6

pH<sub>água</sub> - Relação solo-água 1:2,5. P e K - Extrator Mehlich-1. Ca, Mg e Al - Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. T - Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. m - Saturação de alumínio. V - Saturação por bases. MO - Matéria orgânica determinado através da multiplicação do resultado do carbono orgânico pelo método Walkey-Black por 1,724. Cascalho/calhaus - Tamisação em peneira de 2,0 mm. Areia, silte e argila - Método da pipeta.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com cinco combinações de adubação orgânica (AO) e mineral (AM) e um tratamento adicional (Testemunha), com quatro repetições. Os tratamentos foram o rejeito sem AO e AM (Testemunha) e as combinações de 0%AO/100%AM; 25%AO/75%AM; 50%AO/50%AM; 75%AO/25%AM; 100%AO/0%AM; que corresponderam respectivamente as doses de 50 kg ha<sup>-1</sup> N, 50 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 40 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O, sem adição de esterco de curral; 37,5 kg ha<sup>-1</sup> N, 37,5 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 30 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O e 2,5 t ha<sup>-1</sup> esterco de curral; 25 kg ha<sup>-1</sup> N, 25 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O e 5,0 t ha<sup>-1</sup> esterco de curral; 12,5 kg ha<sup>-1</sup> N, 12,5 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 10 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O e 7,5 t ha<sup>-1</sup> esterco de curral; 10 t ha<sup>-1</sup> de esterco sem adição de fertilizantes mineral, respectivamente. As doses que corresponderam a 50 kg de N (sulfato de amônio), 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato simples) e 40 kg de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio) foram recomendados para nível tecnológico médio para *Brachiaria brizantha* (CANTARUTTI et al., 1999). A dose de 10 t ha<sup>-1</sup> de esterco de curral foi recomendada segundo a CFSEMG (1999). A parcela experimental foi composta por vasos de plásticos de 5 dm<sup>3</sup> onde foram colocados 3 dm<sup>3</sup> de

rejeito de quartzito seco, com densidade uniforme de  $0,93 \text{ g cm}^{-3}$ . Os vasos tiveram o fundo fechado para evitar perda de nutrientes e de água.

Na instalação do experimento foram aplicados  $238 \text{ kg ha}^{-1}$  de calcário dolomítico para fornecimento de Ca e Mg pelo método da saturação por bases para elevação de V a 55% (ALVAREZ V. e RIBEIRO, 1999). Na mesma época foi realizada a adubação fosfatada e a adubação orgânica em acordo com combinações de AM e AO descritas. O material de rejeito foi incubado por mais 30 dias, sendo a umidade do material mantida durante todo o experimento em 60% do volume total de poros (VTP), aferida diariamente através de pesagem, completando-se o peso com água deionizada. Uma semana antes da semeadura foi feita a adubação básica de  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  de B na forma de ácido bórico e  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  de Zn na forma de sulfato de zinco (CANTARUTTI et al., 1999). O plantio da *B. brizantha* cv. Marandu (forrageira) foi realizado a partir da semeadura direta nos vasos, após a emergência as duas plântulas mais uniformes foram selecionadas e as demais removidas.

As adubações potássicas e nitrogenadas em cobertura iniciaram 15 dias após o primeiro corte de uniformização e foram parceladas em quatro vezes e com aplicações realizadas em intervalos de 15 dias. O corte de uniformização foi efetuado a 0,03 m do colo da planta, para uniformizar todos os tratamentos e dar início ao período experimental. Foram feitos, ao longo do período experimental, quatro cortes em intervalos de 35 dias, sendo apresentados neste trabalho os dados referentes à produção total de massa seca da parte aérea.

O material vegetal, após coletado, foi lavado em água destilada, e seco em estufa, com circulação forçada de ar, à temperatura de  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ , por 72 horas até atingir peso constante para determinação da massa seca da parte aérea, em cada corte, e peso massa seca da raiz ao final do experimento.

Para avaliação do estado nutricional da forrageira, após moagem da massa seca as amostras foram analisadas para os teores de nutrientes segundo Malavolta et al. (1997). Para o cálculo total dos conteúdos de nutrientes da parte aérea e das raízes, multiplicou-se o teor de cada nutriente pela massa seca dos componentes analisados e, dessa forma, obteve-se o acúmulo de cada nutriente na parte aérea e raízes da forrageira.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. As combinações de AM e AO foram submetidas a estudo de regressão polinomial e a média da testemunha foi comparada com os demais tratamentos pelo teste de F. O teor de nutrientes na parte aérea e acumulada na parte aérea e raízes da forrageira foram estimados substituindo-se a porcentagem de AM para o máximo crescimento nas equações que relacionam a porcentagem de AM com essas variáveis.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se que a produção de massa seca da parte aérea (MSPA), de raízes (MSR) e total (MST) da *B. brizantha* cv. Marandu (forrageira), aos 140 dias após o corte de uniformização, foi influenciada ( $P < 0,05$ ) pela combinação de AM (NPK) e AO (esterco de curral) aplicada ao rejeito de quartzito (Figura 1). A testemunha difere ( $P < 0,05$ ) e é inferior as demais combinações de AM e AO quanto à produção de massa seca da forrageira (Figura 1). A melhor combinação de AM e AO para se obter a máxima produção de massa seca foi de 75 e 25%, respectivamente (Figura 1). A partir da massa seca das partes analisadas as doses de N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  e esterco de curral para se obter a máxima produção de massa seca da forrageira nas condições de estudo foi de 37 kg, 37 kg, 30 kg e 2,6 t por ha, respectivamente que corresponderam a produção de 1,44 t de MSPA; 3,54 t de MSR e 5,00 t por ha.

A produção de massa seca da parte aérea da forrageira no melhor tratamento (75% AM e 25% AO) foi inferior aos resultados observados para a mesma forrageira em estudo com omissão de macronutrientes (MONTEIRO et al., 1995), na avaliação da nutrição mineral de braquiário em Latossolos de cerrado (FAQUIN et al., 2000), na influência de diferentes fontes (uréia e nitrato de amônio) e doses (50, 100, 200 kg ha<sup>-1</sup>) de N sobre o crescimento, teor e acúmulo de nutrientes em *Brachiaria* cv. Marandu (PRIMAVESI et al., 2006), na resposta da forrageira a diferentes tipos de adubação mineral (calcário dolomítico, calcário+uréia, calcário+superfosfato simples, calcário+cloreto de potássio, calcário+NPK (04-30-10), calcário+ fosfato natural reativo de Arad) (BENETT et al., 2008) e na avaliação da resposta do capim marandu a diferentes doses combinadas de N e S (BATISTA e MONTEIRO, 2010). Respostas positivas à adubação orgânica em áreas degradadas foram observadas com diferentes forrageiras gramíneas e leguminosas na recuperação de propriedades químicas e físicas de um solo degradado pela mineração de xisto (MOTTA NETO et al., 1995), e na produção de matéria seca em área degradada, no qual aplicou 44 kg ha<sup>-1</sup> N, 160 kg ha<sup>-1</sup>  $P_2O_5$ , 150 kg ha<sup>-1</sup>  $K_2O$  e 13,16 t ha<sup>-1</sup> esterco de curral (FAVARETTO et al., 2000).

Provavelmente, a menor produção de massa seca da parte aérea da forrageira, se deve as condições degradadas, com baixa fertilidade natural devido ao material de origem (YUAN, 2006); e a diminuição da estrutura e, conseqüentemente decréscimo da porosidade, especialmente da macroporosidade, que reduz a disponibilidade de água e nutrientes prejudicando o crescimento das raízes (TAYLOR e BRAR, 1991) do rejeito da mineração de quartzito.

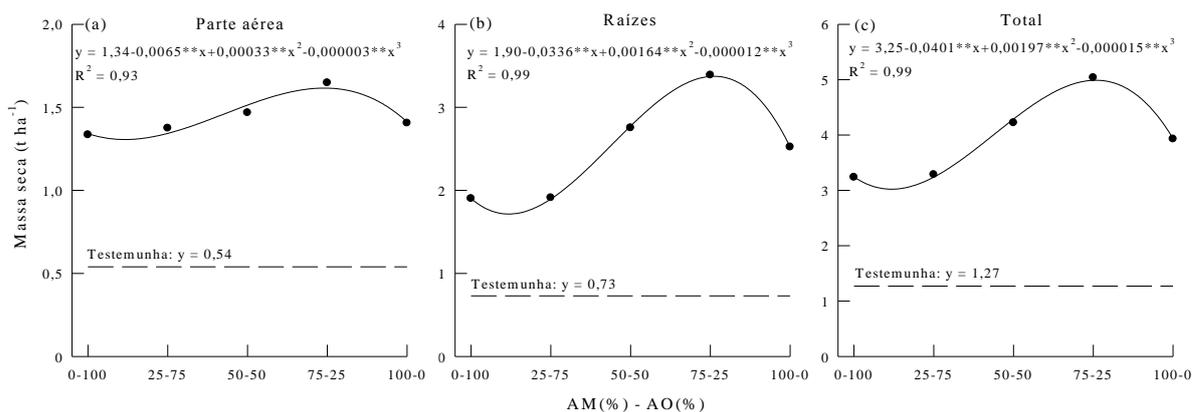


Figura 1. Massa seca da parte aérea (a), das raízes (b) e total (c) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em função da porcentagem de adubação mineral (AM) e orgânica (AO) aplicada em rejeito da mineração de quartzito num período de 140 dias após o corte de uniformização. (\*\* significativo a 1% pelo teste de t).

Em contrapartida, a produção de massa seca da raiz (3,54 t ha<sup>-1</sup>) foi superior á produção de massa seca da parte aérea (1,44 t ha<sup>-1</sup>) na melhor combinação de AM e AO (Figura 1). O efeito benéfico da adubação mineral no desenvolvimento do sistema radicular de *B. brizantha* cv. Marandu se deve a maior disponibilidade de nutrientes (CARVALHO et al., 1999). As gramíneas exercem papel fundamental na recuperação de áreas degradadas, uma vez que, influenciam pelo seu sistema radicular extenso e abundante em constante renovação na agregação do solo, processo principal para a sua recuperação ocorre pela ação combinada da matéria orgânica humificada, atividade biológica e raízes das plantas (CAMPOS et al., 1999; SENESI e LOFFREDO, 1999). Destaca-se ainda a importância das raízes finas na profundidade de solo de 0 a 0,05 m, as quais, juntamente com a matéria orgânica, envolvem os microagregados do solo, ao mesmo tempo em que atuam na formação e estabilização dos macroagregados (CAMPOS et al., 1999).

Apesar da produção de massa seca da parte aérea da forrageira ter sido inferior aos resultados obtidos por vários autores (MONTEIRO et al., 1995; FAQUIN et al., 2000; PRIMAVESI et al., 2006; BENETT et al., 2008 e BATISTA e MONTEIRO, 2010), a produção de massa seca total nas condições de estudo (5 t ha<sup>-1</sup>) foram superiores, devido a maior contribuição das raízes quando comparadas á produção de massa seca para produção animal, com *B. brizantha* (3,29 t ha<sup>-1</sup>), *B. decumbens* (2,62 t ha<sup>-1</sup>), *B. ruziziensis* (0,44 t ha<sup>-1</sup>), *B. humidicola* (0,43 t ha<sup>-1</sup>) em época de seca em ambientes não degradados (BOTREL et al., 1999).

O elevado potencial da *B. brizantha* para produção de forragem para cobertura, observado com o tratamento 75% AM e 25% AO em relação aos demais tratamentos e ao tratamento adicional (Testemunha), apesar das condições adversas, se deve ao efeito positivo

da matéria orgânica combinada adequadamente a adubação mineral. Este efeito na produção de biomassa tem sido atribuído as modificações nas propriedades físicas do solo, principalmente a melhor agregação deste, que por sua vez, influenciam na capacidade de infiltração e retenção de água, drenagem, aeração, temperatura e penetração radicular no solo (GOMIDE e ASSAD, 1990; KANG, 1991; VARANINE et al., 1993; FAVARETTO et al., 2000).

Os teores de todos os macro e micro nutrientes foram influenciados pela AM e AO, e diferiram da testemunha, exceto Cu, Fe e Zn (Tabela 2). Os teores de N na parte aérea da forrageira aumentaram linearmente com o aumento da porcentagem de AM (Tabela 2). O teor de N ( $11,91 \text{ g kg}^{-1}$ ) na massa seca da parte aérea da forrageira cultivada em rejeito de quartzito com 75% de AM e 25% de AO proporcionou a maior produção de MSPA, está próxima da faixa adequada preconizada por Werner et al. (1996) e Malavolta et al. (1997) que indicam variar de 13 a  $20 \text{ g kg}^{-1}$ . Ao comparar o teor de N entre a testemunha e o tratamento de maior produção de biomassa (75% AM e 25% AO), o teor na testemunha foi inferior, mas adequado (WERNER et al., 1996; MALAVOLTA et al., 1997), confirmando a importância recíproca da AM e AO quanto à disponibilização de nutrientes para atender a demanda nutricional desse nutriente para a forrageira.

Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Favaretto et al. (2000) em experimento com forrageiras em ambiente degradado, Magalhães et al. (2002) estudando a quantidade de nutriente exportado pela *Brachiaria brizantha* e Teles et al. (2011) quando avaliou o efeito da adubação NPK sob a produção de *Brachiaria brizantha* cv MG-4 em condições não degradadas.

O teor de P na forrageira, no melhor tratamento (75%AM e 25% AO), se encontra dentro da faixa adequada de  $0,8$  a  $3,0 \text{ g kg}^{-1}$  (WERNER et al., 1996) enquanto que o teor na forrageira do tratamento sem adubação mineral e orgânica (Testemunha) está deficiente em P (Tabela 2). Verifica-se redução significativa no teor foliar de P, no tratamento sem adubação (Tabela 2). Isso demonstra que a quantidade aplicada de P no melhor tratamento, para obter a máxima produção, foi suficiente para atender a demanda nutricional e a adubação fosfatada é responsiva no crescimento inicial e na produção das forrageiras (SANTOS et al.; 2002). Ao se comparar o teor de P obtidos no melhor tratamento (75% AM e 25% AO) com trabalhos de outros autores observa-se que estão próximos aos determinados por Primavesi et al. (2006), superiores ao observados por Teles et al. (2011) com capim Marandu em condição não degradada e inferiores quando comparados com os teores obtidos por Favaretto et al. (2000) em área de extração mineral de xisto.

Tabela 2. Equações de regressão ajustadas para os teores de macro e micronutrientes na parte aérea de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em função da porcentagem de adubação mineral aplicada em rejeito da mineração de quartzito, teor de nutrientes correspondente a 75% de adubação mineral (AM) e na testemunha, num período de 140 dias após o corte de uniformização.

Nutriente <sup>(1)</sup>	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>	AM <sup>(2)</sup>	Testemunha <sup>(3)</sup>
N	$\hat{y} = 8,49 + 0,0309**x$	0,91	11,91	11,82*
P	$\hat{y} = 1,55 + 0,0172**x$	0,92	2,84	0,72*
K	$\hat{y} = 12,76 - 0,0686**x$	0,94	7,62	6,21*
Ca	$\hat{y} = 1,87 - 0,0054**x$	0,95	1,46	1,78*
Mg	$\hat{y} = 0,84 - 0,0005**x^{1,5}$	0,91	0,52	0,78*
S	$\hat{y} = 3,73 - 0,0082**x$	0,94	3,12	1,49*
B	$\hat{y} = 112,08 - 0,0662**x^{1,5}$	0,94	69,08	112,90*
Cu	$\hat{y} = \bar{y} = 7,35$	-	7,35 <sup>(4)</sup>	7,35
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 58,67$	-	58,67 <sup>(4)</sup>	58,67
Mn	$\hat{y} = 225,48 - 0,1647**x^{1,5}$	0,90	118,50	33,40*
Zn	$\hat{y} = \bar{y} = 33,97$	-	33,97 <sup>(4)</sup>	33,97

\*\*significativo a 1% pelo teste de t. <sup>(1)</sup> Macronutrientes em g kg<sup>-1</sup> e micronutrientes em mg kg<sup>-1</sup>. <sup>(2)</sup> Teor nutriente na aplicação de 75% AM e 25% AO. <sup>(3)</sup> \* Diferencia a testemunha dos demais tratamentos pelo teste F a 5%. <sup>(4)</sup> Teor médio das combinações de AM e AO.

No tratamento com máxima produção de massa seca, verifica-se que o teor foliar de K está abaixo da faixa adequada de 12 a 13 g kg<sup>-1</sup> (WERNER et al., 1996). Este fato pode ser explicado possivelmente pelo efeito diluição (MALAVOLTA et al., 1997). No tratamento sem AM e AO (Testemunha), a redução nos teores foliares de K se deve possivelmente ao fato de não ter aplicado qualquer tipo de fertilizante, uma vez que, o teor de K na massa seca também varia com a disponibilidade do nutriente no solo (MALAVOLTA et al., 1997). Resultados semelhantes foram observados por Primavesi et al. (2006). Enquanto que, Favaretto et al. (2000), obteve teores de K superiores ao obtido neste trabalho, com diferentes forrageiras em ambiente degradado pela extração de xisto.

Observa-se que houve diferenças significativas nos teores foliares de Ca e Mg na forrageira e que o teor na testemunha diferiu das demais combinações de AM e AO (Tabela 2). A partir dos resultados tem-se que no melhor tratamento a forrageira apresenta-se deficiente em Ca e Mg, uma vez que, os teores encontravam-se abaixo da faixa adequada preconizada por Werner et al. (1996) e dos encontrados por Favaretto et al. (2000), Primavesi et al. (2006) e, Batista e Monteiro (2010) na parte aérea de capim-marandu; mesmo tendo sido aplicada a quantidade de calcário necessária para elevar a saturação por bases a 55 %. A textura muito arenosa do substrato com baixa capacidade de troca de cátions (T) (Tabela 1) proporciona menor recomendação de calcário devido ao baixo poder tampão (SAMBATTI et

al., 2003), e conseqüentemente, reduzida disponibilidade de Ca e Mg para forrageira. Desta forma, faz-se necessário melhorar a forma de recomendação de nutrientes para ambientes degradados pela mineração de quartzito. Estes resultados podem também ser explicados pela AM com N e K. A adubação nitrogenada interfere de forma negativa, no teor de Ca devido ao efeito diluição, pelo rápido crescimento da forragem (ANDRADE et al., 2000). A adubação potássica promoveu altas concentrações de K na solução do solo que reduziu a absorção de Ca e Mg por inibição competitiva pelos mesmos sítios de absorção nas raízes (MARSCHNER, 1995).

O teor de S diferiu nas combinações de AM e AO e na testemunha em relação às combinações (Tabela 2). Enquanto que, no melhor tratamento (75% AM e 25% AO), o teor de S ficou ligeiramente acima da faixa adequada e na testemunha (sem adubação) encontra-se dentro da faixa adequada de 0,8 a 2,5 g kg<sup>-1</sup> (WERNER et al., 1996). A diferença observada relaciona-se provavelmente a quantidade de S no substrato que foi capaz de atender a demanda da forrageira, no tratamento sem aplicação de fertilizantes (Testemunha). O maior teor de S observado na melhor combinação de AM e AO pode ser explicado pelo uso do sulfato de amônio como fonte de N, e ainda, pela quantidade de matéria orgânica adicionada nesse tratamento. O teor de S com 75% AM e 25% AO foi superior aos obtidos por Mattos e Monteiro (2003) de 2,81 g kg<sup>-1</sup> de S, avaliando a influência da adubação com nitrogênio e enxofre em capim-braquiária. Da mesma forma Oliveira et al. (2005) mostraram em seu trabalho com forrageiras que doses adequadas de S têm proporcionado aumentos na produção de massa seca da parte aérea de capim - marandu.

O B e o Mn apresentaram-se em excesso na combinação de 75% AM e 25% AO (Tabela 2) segundo a faixa adequada de 10 - 25 (B) e 58 - 76 (Mn) mg kg<sup>-1</sup> (WERNER et al., 1996) com redução do teor na parte aérea da forrageira em função do aumento das percentagens de AM em ambos os micronutrientes (Tabela 2). O excesso de B no melhor tratamento deveu-se a adubação complementar realizada com ácido bórico no substrato de textura arenosa (Tabela 1). O solo de textura arenosa tem maior disponibilidade de B (ROSOLEM e BISCARO, 2007) e devido à aplicação de matéria orgânica, sendo esta fonte deste micronutriente (LIMA et al., 2007). Portanto, a redução da matéria orgânica proveniente da AO com o aumento da AM, promoveu a redução da disponibilidade de Mn no substrato. A liberação de compostos orgânicos pela mineralização proporciona a formação de complexos estáveis com os micronutrientes na solução do solo, podendo aumentar sua mobilidade e disponibilidade para as plantas (FRANCHINI et al., 2003).

O teor de Cu se encontra na faixa adequada de 7 - 10 mg kg<sup>-1</sup> (WENER et al., 1996 e PRIMAVESI et al., 2006) tanto para a melhor combinação de adubação (75% AM e 25% AO) quanto para a testemunha (Tabela 2), uma vez que as demandas pelo nutriente foram supridas via substrato, já que não foi realizada adubação com esse micronutriente.

O teor de Fe encontra-se inferior a faixa adequada de 196 - 239 mg kg<sup>-1</sup> (WENER et al., 1996), tanto no tratamento 75% AM e 25% AO, quanto no tratamento adicional (Testemunha) (Tabela 2). Possivelmente devido a característica do substrato, o qual apresenta-se com baixo teor de argila (Tabela 1), sendo que solos de textura arenosa apresenta baixa disponibilidade de Fe (MARINHO et al., 2002) e ainda, por não ter sido realizada a aplicação desse micronutriente.

O teor de Zn na melhor combinação de AM e AO e na testemunha apresenta-se na faixa adequada de 29 - 35 mg kg<sup>-1</sup> (WENER et al., 1996), isso se deve principalmente a característica física do substrato de textura arenosa (Tabela 1), diminuindo assim os pontos de adsorção e conseqüentemente maior disponibilidade de Zn para a forrageira. A adsorção é, talvez, o principal processo a ser considerado para o entendimento da disponibilidade de Zn, visto que dá indicativos da solubilidade e mobilidade desses elementos e a conseqüente disponibilidade para as plantas (NASCIMENTO e FONTES, 2004). Resultados similares para teor de Zn no tecido vegetal foram encontrados por Primavesi et al. (2006).

As quantidades de nutrientes alocados na biomassa vegetal devem ser consideradas, uma vez que, o conhecimento acerca do acúmulo de nutrientes pelas forrageiras em ambiente degradado, é importante não só para o entendimento da dinâmica dos nutrientes, mas principalmente para o estabelecimento de práticas para a recuperação de sítios degradados (SOUZA e DAVIDE, 2001).

Como o acúmulo de um nutriente é dependente do teor deste no tecido e, principalmente, da produção de massa seca, verificou efeito significativo ( $P < 0,05$ ) para acumulação de N, P, K, Mg, Cu, Mn e Zn na parte aérea da forrageira em função da porcentagem de AM, exceto para Ca, S e Fe (Tabela 3). Verifica-se que os valores acumulados de nutrientes pela forrageira no tratamento adicional (Testemunha) foram sempre inferiores (Tabela 3) ao da melhor combinação de AM e AO, isso se deve, no geral, a menor produção de massa seca (Figura 1).

Tabela 3. Equações de regressão ajustadas para o acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea e nas raízes na massa seca de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em função da porcentagem de adubação mineral aplicada em rejeito da mineração de quartzito, acúmulo máximo (AM) de nutrientes e na testemunha, num período de 140 dias após o corte de uniformização.

Nutriente <sup>(1)</sup>	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>	AM <sup>(2)</sup>	Testemunha <sup>(3)</sup>
Parte aérea				
N	$\hat{y} = 12,05 - 0,1253**x + 0,0055**x^2 - 0,00004**x^3$	0,96	17,60	6,40*
P	$\hat{y} = 1,69 + 0,0633**x - 0,0004**x^2$	0,96	4,45	0,39*
K	$\hat{y} = 17,37 - 0,0807**x$	0,91	11,31	3,36*
Ca	$\hat{y} = \bar{y} = 2,30$	-	2,30 <sup>(4)</sup>	2,30
Mg	$\hat{y} = 1,05 + 0,0065**x - 0,0001**x^2$	0,83	0,87	0,42*
S	$\hat{y} = \bar{y} = 4,79$	-	4,79 <sup>(4)</sup>	4,79
B	$\hat{y} = 139,49 + 0,7914**x - 0,0156**x^2$	0,91	111,02	61,16*
Cu	$\hat{y} = 10,17 - 0,0592**x + 0,0020**x^2 - 0,000002**x^3$	0,94	10,57	5,57*
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 85,00$	-	85,00 <sup>(4)</sup>	85,00
Mn	$\hat{y} = 278,56 + 1,5484**x - 0,0353**x^2$	0,84	195,96	18,09*
Zn	$\hat{y} = 34,72 + 0,2903**x$	0,95	56,49	6,77*
Raízes				
N	$\hat{y} = 14,98 - 0,4447**x + 0,0201**x^2 - 0,00015**x^3$	0,97	30,89	6,15*
P	$\hat{y} = 0,14 - 0,0039**x + 0,0002**x^2 - 0,000002**x^3$	0,97	0,33	0,05*
K	$\hat{y} = 9,83 + 1,5752**x - 5,6604**x^{0,5} - 0,1018**x^{1,5}$	0,94	12,83	1,81*
Ca	$\hat{y} = \bar{y} = 4,38$	-	4,38 <sup>(4)</sup>	4,38
Mg	$\hat{y} = \bar{y} = 0,53$	-	0,53 <sup>(4)</sup>	0,53
S	$\hat{y} = 7,20 - 0,0213**x + 0,0071**x^2 - 0,000067**x^3$	0,97	17,33	1,28*
B	$\hat{y} = 34,70 - 0,5768**x + 0,0071**x^2 - 0,00026**x^3$	0,95	56,65	17,04*
Cu	$\hat{y} = \bar{y} = 34,43$	-	34,43 <sup>(4)</sup>	34,43
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 1.351,21$	-	1.351,21 <sup>(4)</sup>	1.351,21
Mn	$\hat{y} = \bar{y} = 169,01$	-	169,01 <sup>(4)</sup>	169,01
Zn	$\hat{y} = \bar{y} = 10,75$	-	10,75 <sup>(4)</sup>	10,75

\*\* significativo a 1% pelo teste de t. <sup>(1)</sup> Macronutrientes em kg ha<sup>-1</sup> e micronutrientes em g ha<sup>-1</sup>. <sup>(2)</sup> Acúmulo máximo na aplicação de 75% de adubação mineral e 25% de adubação orgânica. <sup>(3)</sup> \* Diferencia a testemunha dos demais tratamentos pelo teste F a 5%. <sup>(4)</sup> Acúmulo médio das combinações de AM e AO.

Dentre os macronutrientes, os maiores acúmulos na parte aérea e na raiz da forrageira foram de N e K, sendo o P acumulado em menores quantidades (Tabela 3). Os valores acumulados para os macronutrientes na parte aérea apresentaram a seguinte ordem de acúmulo: N > K > P > S > Ca > Mg (Tabela 3). Dentre os micronutrientes, na parte aérea a ordem decrescente das quantidades acumuladas ocorreu para Mn > B > Fe > Zn > Cu (Tabela 3). A ordem no acúmulo de macronutrientes na parte aérea da forrageira na melhor combinação de AM e AO foram similares àquela observada por Braga et al. (2004) em capim braquiária e mombaça. Por outro lado, os acúmulos de macronutrientes foram superiores na

fornageira conhecida como capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) em ambiente não degradado (FRANCISCO et al., 2007) e a mesma sequência de acúmulo de K, Ca e Mg nas forrageiras gramíneas e leguminosas em ambiente degradado pela extração de xisto (FAVARETTO et al., 2000).

Para fins de comparação de utilização da forrageira para recuperação de área degradada pela mineração de quartzito, em área de floresta estacional semidecidual, o acúmulo de nutrientes pela serrapilheira foi superior aos encontrados para a forrageira de cobertura, sendo o N o elemento que mais acumulou seguido pelo Ca (VITAL et al., 2004). Já em povoamento de Acácia Negra no Rio Grande do Sul (SCHUMACHER et al., 2003), o acúmulo de todos os macronutrientes, exceto o P, contidos nas folhas que compõem a serrapilheira foi maior, mas a ordem de acúmulo dos nutrientes foi similar a observada para a forrageira nas condições de estudo. Com diversas espécies florestais em ambiente de mata atlântica (DUARTE et al., 2007), o aporte de N pelas espécies florestais (Ingá e Fedegoso) foi semelhante ao N acumulado; enquanto para P, K, Mg, Zn e Cu, o acúmulo pelas espécies florestais foi inferior ao da forrageira na combinação de 75% AM e 25% AO.

Os maiores acúmulos dos nutrientes N, K, Ca, S, Fe, Mn, tanto na melhor combinação de AM e AO quanto na testemunha foram observados na raiz (Tabela 3), devido, principalmente a maior produção de massa seca nesse componente vegetal (Figura 1). Os valores acumulados para os macronutrientes na raiz na combinação de maior produção de biomassa (75% AM e 25% AO), apresentaram a seguinte ordem de acúmulo:  $N > S > K > Ca > Mg > P$  (Tabela 3). Enquanto que para os micronutrientes acumulados na raiz, a ordem decrescente das quantidades ocorreu para  $Fe > Mn > B > Cu > Zn$  (Tabela 3).

Dessa forma verifica-se que o uso de plantas de cobertura é uma alternativa para aumentar a sustentabilidade dos sistemas degradados, podendo restituir quantidades consideráveis de nutrientes a área degradada, uma vez que essas plantas são eficientes na absorção e acumulação de nutrientes, liberando-os, posteriormente, pela decomposição dos seus resíduos.

## CONCLUSÕES

1. A *B. brizantha* cv. Marandu respondeu a adubação mineral e orgânica com as doses recomendadas de 37 kg N, 37 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 30 kg K<sub>2</sub>O e 2,6 t esterco de curral por ha cultivado em rejeito da mineração de quartzito.

2. A adubação orgânica e mineral aplicada ao rejeito de quartzito influenciou o estado nutricional da *B. brizantha* cv. Marandu.

3. O acúmulo de nutrientes na braquiária, nas doses recomendadas, ocorreu na seguinte ordem na parte aérea: N > K > P > S > Ca > Mn > B > Fe > Zn > Cu e nas raízes: N > S > K > Ca > Mg > P > Fe > Mn > B > Cu > Zn.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de mestrado. A Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri pela infraestrutura necessária para a condução do experimento.

## REFERÊNCIAS

ALVAREZ V., V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. 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.43-60.

ANDRADE, C.S.; FONSECA, D.M.; GOMIDE, J.A.; ALVAREZ V., V.H.; MARTINS, C.E.; SOUZA, D.P.H. Produtividade e valor nutritivo do capim-elefante cv. Napier sob doses crescentes de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.29, n.6, p.1589-1595, 2000.

BAGGIO, A.J.; CARPANELLI, A.O.B. Alguns sistemas de arborização em pastagens. **Boletim Pesquisa Florestal**, Colombo, n.17, p.47-60, 1987.

BATISTA, K.; MONTEIRO, F.A. Variações nos teores de potássio, cálcio e magnésio em capim-marandu adubado com doses de nitrogênio e de enxofre. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n.1, p. 151-161, 2010.

BENNETT, C.G.S.; YAMASHITA, O.; KOGA, P.S.; SILVA, K.S. Resposta da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu a diferentes tipos de adubação. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v.6, n.1, p.13-20, 2008.

BOTREL, M.A.; ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F. Avaliação de gramíneas forrageiras na região sul de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.4, p.683-689, 1999.

BRAGA, A.J.B.P.; SILVEIRA, P.M.; KLIEMANN, H.J.; ZIMMERMANN, F.J.P. Acumulação de nutrientes em folhas de milheto e dos capins braquiária e mombaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiás, v.34, n.2, p.83-87, 2004.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; CASSOL, L.C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.383-391, 1999.

CANTARUTTI, R.B.; MARTINS, C.E.; CARVALHO, M.M.; FONSECA, D.M.; ARRUDA, M. L.; VILELA, H.E.; OLIVEIRA, F.T.T. Pastagens. 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. 332-341.

CARVALHO, M.C.S. **Práticas de recuperação de uma pastagem degradada e seus impactos em atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo**. 1999. 101f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luís de Queiroz", Piracicaba. 1999.

CFSEMG. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Adubação orgânica. 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. 87-92.

CULLEN, W.R.; WHEATER, C.P.; DUNLEAVY, P.J. Establishment of species-rich vegetation on reclaimed limestone quarry faces in Derbyshire, UK. **Biological Conservation**, Boston, v.84, n.1, p.25-33, 1998.

DUARTE, E.G. **Ciclagem de nutrientes por árvores em sistemas agroflorestais na Mata Atlântica**. 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212p.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; JONES, C.A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. New York: M. Dekker, 1991. 476p.

FAQUIN, V.; LIMA, D.V.; FURTINI NETO, A.E.; MORAES, A.R.; CURI, N.; HIGA, N.T. Nutrição mineral do braquiário e da soja cultivados em Latossolos sob cerrado da região de Cuiabá, MT. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.24, n.2, p.110-117, 2000.

FAVARETTO, N.; MORAES, A.; MOTTA, A.C.V.; PREVEDELLO, B.M.S. Efeito da revegetação e da adubação de área degradada na fertilidade do solo e nas características da palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.2, p.289-297, 2000.

FRANCHINI, J.C.; HOFFMAN-CAMPO, C.B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Organic composition of green manure during growth and its effects on cation mobilization in an acid Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.34, n.13-14, p.2045-2058, 2003.

FRANCISCO, E.A.B.; CAMARA, G.M.S.; SAGATELLI, C.R. Estado nutricional e produção do capim-pé-de-galinha e da soja cultivada em sucessão em sistema antecipado de adubação. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.2, p.259-266, 2007.

GOMIDE, C.C.C.; ASSAD, E.D. Avaliação da distribuição do *Andropogon gayanus* cv. Planaltina utilizando imagens de satélite TM. Landsat em áreas de cerrado. **Pasturas tropicais**, Cali, v.12, n.3, p.2-6, 1990.

KANG, B.T. Changes in soil chemical proprieties and crop performance with continuos cropping on an Entisol in the humid tropics. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. (Ed.). **Soil organic matter dynamics sustainability of tropical agriculture**. New York: J. Wiley, 1991. p. 297-305.

LIMA, J.J.; MATA, J.D.V.; NETO, R.P.; SCAPIM, C.A. Influência da adubação orgânica nas propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico e na produção de matéria seca de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.29, supl., p.715-719, 2007.

LUCCHESI, L.A.C. **Influência de sucessões de culturas forrageiras e a adubação sobre a recuperação de um solo degradado pela mineração do xisto e sobre sua mesofauna edáfica (Acari e Collembola)**. 1998. 252f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal Paraná, Curitiba, 1998.

MAGALHAES, R.T.; OLIVEIRA, I.P.; KLIEMANN, H.J. Relações da produção de massa seca e as quantidades de nutrientes exportados por *Brachiaria brizantha* em solos sob o manejo pelo sistema "Barreirão". **Pesquisa. Agropecuária Tropical**, Goiás, v.32, n.1, p.13-20, 2002.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARINHO, C.S.; MONNERAT, P.H.; CARVALHO, A.C.C.; MARINS, L.D.; VIEIRA, A. Análise química do pecíolo e limbo foliar como indicadora do estado nutricional dos mamoeiros 'Solo' e 'Formosa'. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.59, n.2, p.373-381, 2002.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MATTOS, W.T.; MONTEIRO, F.A. Produção e nutrição de capim-braquiária em função de doses de nitrogênio e enxofre. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v.60, n.1, p.1-10, 2003.

MEDEIROS, J.C.; MIELNICZUK, J.; PEDO, F. Sistema de culturas adaptadas à produtividade, recuperação e conservação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, n.2, p.199-204, abr. 1987.

MELO, E.F.R.Q. **Recuperação de área degradada da Itaipu Binacional com forrageiras e adubações**. Foz do Iguaçu: CNPq/Itaipu Binacional, 1994. 159p.

MONTEIRO, F.A.; RAMOS, A.K.B.; CARVALHO, D.D.; ABREU, J.B.R.; DAIUB, J.A.S.; SILVA, J.E. P.; NATALE, W. Cultivo de cv. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.52, n.1, p.135-141, 1995.

MOTTA NETO, J.A. **Avaliação do uso de forrageiras e de adubação na recuperação de propriedades químicas e físicas de um solo degradado pela mineração do xisto**. 1995. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal Paraná, Curitiba, 1995.

NASCIMENTO, C.W.A; FONTES, R.L.F. Correlação entre características de latossolos e parâmetros de equações de adsorção de cobre e zinco. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, v.28, n.6, p.965-971, 2004.

NOVÁK, J., PRACH, K. Vegetation succession in basalt quarries: pattern on a landscape scale. **Applied Vegetation Science**, Knivsta, v.6, n.2, p.111-116, 2003.

OLIVEIRA, P.P.A.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, W.S.; CORSI, M. Fertilização com N e S na Recuperação de Pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Neossolo Quartzarênico. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.34, n.4, p.1121-1129, 2005.

PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; SILVA, A.G.; CANTARELLA, H. Nutrientes na fitomassa de capim-marandu em função de fontes e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.30, n.3, p.562-568, 2006.

ROSOLEM, C.A; BÍSCARO, T. Adsorção e lixiviação de boro em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.10, p.1473-1478. 2007.

ROVEDDER, A.P.M.; ELTZ F.L.F. Desenvolvimento do *Pinus elliottii* e do *Eucalyptus tereticornis* consorciado com plantas de cobertura, em solos degradados por arenização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.1, p.84-89, 2008.

SAMBATTI, J.A.; SOUZA JUNIOR, I.G.; COSTA, A.C.S.; TORMENA, C.A. Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos da formação caiuíá - noroeste do estado do Paraná. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v, 27, n.2, p. 257-264, 2003.

SANTOS, H.Q.; FONSECA, D.M.; CANTARUTTI, R.B.; ALVAREZ V. V.H.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para gramíneas forrageiras tropicais, em diferentes idades. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, v.26, n.1, p. 173-182, 2002.

SCHUMACHER, M.V.; BRUN, J.E.; RODRIGUES, L.M.; SANTOS, E.M. Retorno de nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de acácia-negra (*acacia mearnsii* de wild.) no estado do rio grande do sul. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.6, p.791-798, 2003.

SENESI, N.; LOFFREDO, E. The chemistry of soil organic matter. In: SPARK, D.L. (Ed.). **Soil physical chemistry**. Boca Raton: CRC Press, p.239-370, 1999.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2009. 627p.

SOUZA, J.A.; DAVIDE, A.C. Deposição de serapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. **Revista Cerne**, Lavras, v.7, n.1, p.101-113. 2001.

TAYLOR, H.M.; BRAR, G.S. Effect of soil compaction on root development. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.19, n.2-3, p. 111-119, 1991.

TELES, T.G.R.M.; CARNEIRO, M.S.S.; SOARES, I.; PEREIRA, E.S.; SOUZA, P.Z.; MAGALHAES, J.A. Produção e composição química da *Brachiaria brizantha* cv. MG-4 sob efeito de adubação com NPK. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v.33, n.2, p.137-143, 2011.

VARANINE, Z.; PINTON, R.; BIASE, M.G.; ASTOLFI, S.; MAGGIONI, A. Low molecular weight humic substances stimulate H<sup>+</sup>-ATPase activity of plasma membrane vesicles isolated from oat (*Avena sativa* L.) roots. **Plant and Soil**, Netherlands, v.153, n.3, p.61-69, 1993.

VITAL, A.R.T.; GUERRINI, I.A.; FRANKEN, W.K.; FONSECA, R.C.B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.6, p.793-800, 2004.

WERNER, J.C.; PAULINO, V.T.; CANTARELLA, H. Forrageiras. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. p. 263-273.

WILLIAMSON, J.C.; ROWE, E.C.; HILL, P.W.; NASON, M.A.; JONES, D.L.; HEALEY, J.R. Alleviation of both water and nutrient limitations is necessary to accelerate ecological restoration of waste rock tips. **Restoration Ecology**, Malden, v.19, n.2, p.194-204, 2011.

YUAN, Y.J.G.; FANG, W.; FAN, L.; CHEN, Y.; WANG, D.Q.; YANG, Z.Y. Soil formation and vegetation establishment on the cliff face of abandoned quarries in the early stages of natural colonization. **Restoration Ecology**, Malden, v.14, n.3, p.349-356, 2006.

## ARTIGO CIENTÍFICO III

### AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DE *Vetiveria zizanioides* (L.) (Nash) EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA EM REJEITO DA MINERAÇÃO DE QUARTZITO

#### RESUMO

Com o objetivo de avaliar o comportamento de *Vetiveria zizanioides* quando cultivada em rejeito da mineração de quartzito sob a influência da adubação mineral e orgânica quanto à capacidade que essa espécie possui em acumular biomassa e nutrientes na sua parte aérea bem como avaliar a concentração de macro e micro nos componentes vegetais. Conduziu-se um experimento em casa de vegetação em delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de cinco combinações de adubação orgânica (AO) e mineral (AM) e um tratamento adicional do rejeito sem AO e AM (Controle). As combinações foram: 0%AO/100%AM; 25%AO/75%AM; 50%AO/50%AM; 75%AO/25%AM; 100%AO/0% AM. As doses de 100% de AM e AO foram de 50 kg N, 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 40 kg K<sub>2</sub>O e 10 t de esterco de curral por ha. A *Vetiveria zizanioides* respondeu a adubação mineral com as doses recomendadas de 50 kg N, 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 40 kg K<sub>2</sub>O por ha<sup>-1</sup>. O acúmulo de nutrientes na espécie *Vetiveria zizanioides* nas doses recomendadas foi na seguinte ordem na parte aérea: K > N > S > P > Ca > Mg > Mn > Zn > Fe > B > Cu e nas raízes: N > S > Ca > K > Mg > P > Fe > Zn > B > Mn > Cu. Conclui-se que o rejeito de quartzito forma um habitat favorável para o crescimento de *Vetiveria zizanioides*, principalmente depois que foi alterado pela adubação mineral.

**Palavras-chave:** Área degradada, teor adequado, estado nutricional, acúmulo de nutrientes, mineração.

## ABSTRACT

### **GROWTH OF *Vetiveria zizanioides* (L.) (Nash) BY MINERAL AND ORGANIC FERTILIZATION IN TAILING OF THE QUARTZITE MINING**

In order to evaluate the behavior of *Vetiveria zizanioides* under the influence of mineral fertilizer and organic, when grown in tailing of the quartzite mining, the experiment was conducted at greenhouse in a completely randomized design with four replications. The treatments consisted of five combinations of mineral (MF) and organic (OF) fertilizer and an additional treatment of the tailing without MF and OF (Witness). The combinations were: 0%OF/100%MF; 25%OF/75%MF; 50%OF/50%MF; 75%OF/25%MF; 100%OF/0% MF. Doses of 100% MF and OF were 50kg N, 50kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 40kg K<sub>2</sub>O and 10t bovine manure per ha. The variables evaluated were dry matter weight (shoot, root and total) and nutrients contents and accumulation. *Vetiveria zizanioides* responded to MF with the recommended doses of 50 kg N, 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 40 kg K<sub>2</sub>O per ha. The doses of MF applied to tailing quartzite influenced the nutritional status of the forage. The accumulation of nutrients in the forage at recommended doses was in the following order in shoot: K> N> S> P> Ca> Mg > Mn > Zn > Fe > B > Cu and roots: N > S > Ca > K > Mg > P > Fe > Zn > B > Mn> Cu. It is concluded that the barren waste of quartzite form a favorable habitat for the growth of *Vetiveria zizanioides*, especially after it was amended by mineral fertilization.

**Keywords:** Degraded area. Appropriate content. Nutritional status. Nutrient accumulation. Mining.

## INTRODUÇÃO

O aumento progressivo das áreas de mineração de quartzito, principalmente em resposta às atividades antrópicas, tem despertado interesse crescente na sociedade em decorrência dos impactos que podem vir a ocasionar aos ambientes naturais. A ocorrência de áreas degradadas advindas dessa atividade no Brasil torna-se cada vez mais freqüente e preocupante.

Segundo informações divulgadas pelos órgãos ambientais, a quantidade de rejeito gerado no processo de extração de quartzito pode chegar a 90% do material extraído. O grande volume de rejeito gerado transforma-se em um grande problema para os empreendedores, passando a produzir impactos negativos, tais como: desconfiguração da paisagem, alterações na conformação natural do relevo, assoreamento dos corpos d'água, suprimimento da vegetação nativa, dentre outros (GENTILI et al., 2011).

Dentre as espécies usadas em programas de restauração, o uso de *Vetiveria zizanioides* também conhecido como *Chrysopogon zizanioides* (L.) (Roberty), pode ser destacado, devido à suas características morfológicas e fisiológicas, que tem sido amplamente conhecida por sua eficácia no controle da erosão e sedimentos (GREENFIELD, 1989) e, principalmente quanto a tolerância a metais pesados e às condições adversas do solo (tolerância à alta acidez, toxicidade de Al e Mn) (TRUONG, 1999). O vetiver é uma espécie conhecida por ser excelente no que diz respeito à restauração ecológica (KALMBACHER e MARTIN, 1998; REYNOLDS et al., 1999; XIA e SHU, 2001) e estabilização de encostas, reabilitação de minas, bem como no tratamento de águas residuais (TRUONG e LOCH, 2004) sendo utilizado em mais de 120 países. Capim vetiver é uma espécie pertencente a família Poaceae, é perene, nativa de países tropicais e subtropicais (Índia, China, Filipinas, Indonésia), o óleo extraído dessa espécie é amplamente utilizado na indústria de perfumes como um elemento básico em misturas do perfume e como um agente de fixação para os odores de materiais mais voláteis (MUCCIARELLI, et al. 1993). Esta espécie cresce 0,5-1,5m de altura com colmos duros e em grandes aglomerações formando um porta-enxerto altamente ramificado (ERSKINE, 1992; TRUONG, 1999). O sistema radicular é composto de raízes fibrosas que pode atingir profundidades de até 3 m (ERSKINE, 1992; TRUONG 1999; HELLIN e HAIGH, 2002; KE et al., 2003).

No trabalho de Xia (2004), o qual avaliou o comportamento de quatro espécies de gramíneas a *Vetiveria zizanioides* apresentou o melhor resultado para a reabilitação ecológica

em áreas de despejo de xisto, e teve a maior taxa de sobrevivência, cobertura e produção de biomassa, bem como a melhor eficiência de fitorremediação. A presente espécie apresenta uma grande vantagem em relação às demais gramíneas exóticas, pois não possui sementes o que evita sérios problemas de invasão biológica.

Devido à ausência de informações, em condições brasileiras da espécie *Vetiveria zizanioides*; o presente estudo teve como objetivo avaliar o comportamento dessa espécie quando cultivada em rejeito da mineração de quartzito sob a influência da adubação mineral e orgânica quanto à sua capacidade em acumular biomassa e nutrientes na parte aérea bem como avaliar a concentração de macro e micro nos componentes vegetais.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de agosto de 2010 a dezembro de 2011, em condições de casa de vegetação no Campus JK da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), em Diamantina, MG, Brasil (18° 12'S; 43° 34'W e altitude de 1.370 m).

O substrato utilizado para instalação do experimento foi composto por rejeito da mineração de quartzito oriundo das áreas de exploração localizadas na região de Diamantina (MG). Para caracterização do substrato foi retirada uma amostra para análise química e de textura. A amostra foi seca ao ar e passada em peneira de 2,0 mm de abertura, sendo posteriormente submetida a análises química (pH, P, K, Ca, Mg, Al, H + Al e matéria orgânica) (SILVA, 2009) e de textura (EMBRAPA, 1997) (Tabela 1). Os resultados da análise química foram ajustados para o todo da constituição granulométrica dos rejeitos de quartzito.

Tabela 1. Análise química e de textura do rejeito da mineração de quartzito.

pH <sub>água</sub>	P	K	Ca	Mg	Al	T	m	V	MO	Cascalho/ Calhaus	Areia	Silte	Argila
	- mg dm <sup>-3</sup> --		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				----	----	-----	----- g kg <sup>-1</sup> -----			
5,0	1,2	5,3	0,5	0,2	0,2	1,7	24	41	7,1	340,4	554,0	99,0	6,6

pH<sub>água</sub> - Relação solo-água 1:2,5. P e K - Extrator Mehlich-1. Ca, Mg e Al - Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. T - Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. m - Saturação de alumínio. V - Saturação por bases. MO - Matéria orgânica determinado através da multiplicação do resultado do carbono orgânico pelo método Walkey-Black por 1,724. Cascalho/calhaus – Tamisação em peneira de 2,0 mm. Areia, silte e argila - Método da pipeta.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com cinco combinações de adubação orgânica (AO) e mineral (AM) e um tratamento adicional (Controle), com quatro repetições. As combinações de 0%AO/100%AM; 25%AO/75%AM;

50%AO/50%AM; 75%AO/25%AM; 100%AO/0% AM; que corresponderam respectivamente as doses de 50 kg ha<sup>-1</sup> N, 50 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 40 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O, sem adição de esterco de curral; 37,5 kg ha<sup>-1</sup> N, 37,5 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 30 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O e 2,5 t ha<sup>-1</sup> esterco de curral; 25 kg ha<sup>-1</sup> N, 25 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O e 5,0 t ha<sup>-1</sup> esterco de curral; 12,5 kg ha<sup>-1</sup> N, 12,5 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 10 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O e 7,5 t ha<sup>-1</sup> esterco de curral; 10 t ha<sup>-1</sup> de esterco sem adição de fertilizantes mineral, respectivamente. As doses que corresponderam a 50 kg de N (sulfato de amônio), 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato simples) e 40 kg de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio) foram recomendados para nível tecnológico médio para *Brachiaria brizantha* (CANTARUTTI et al., 1999). A dose de 10 t ha<sup>-1</sup> de esterco de curral foi recomendada segundo a CFSEMG (1999). A parcela experimental foi composta por vasos de plásticos de 5 dm<sup>3</sup> onde foram colocados 3 dm<sup>3</sup> de rejeito de quartzito seco, que se obteve densidade uniforme de 0,93 g cm<sup>-3</sup>. Os vasos tiveram o fundo fechado para evitar perda de nutrientes e de água.

Na instalação do experimento foram aplicados 238 kg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico para fornecimento de Ca e Mg pelo método da saturação por bases para elevação de V a 55% (ALVAREZ e RIBEIRO, 1999). Na mesma época foi realizada a adubação fosfatada e a adubação orgânica em acordo com combinações de AM e AO descritas. O material de rejeito foi incubado por mais 30 dias, sendo a umidade do material mantida durante todo o experimento em 60% do volume total de poros (VTP), aferida diariamente através de pesagem, completando-se o peso com água deionizada. Uma semana antes da semeadura foi feita a adubação básica de 1 kg ha<sup>-1</sup> de B na forma de ácido bórico e 2 kg ha<sup>-1</sup> de Zn na forma de sulfato de zinco (CANTARUTTI et al., 1999).

Plantas de *Vetiveria zizanioides* (L.) foram fornecidas pela Empresa Deflor Bioengenharia, no qual foram selecionadas 24 plantas de tamanho uniforme (quatro plantas por tratamento) e projetados seis tratamentos conforme descrito anteriormente. Foi feito o destorroamento e a lavagem das raízes em água destilada, sendo posteriormente transplantadas para os vasos de plástico em raiz nua.

As adubações potássicas e nitrogenadas em cobertura iniciaram 15 dias após o primeiro corte de uniformização e foram parceladas em quatro vezes e com aplicações realizadas em intervalos de 15 dias. O corte de uniformização foi efetuado a 0,03 m do colo da planta, com a finalidade de uniformizar todos os tratamentos e dar início ao período experimental. Foram feitos ao longo do período experimental quatro cortes em intervalos de 35 dias, sendo apresentados neste trabalho os dados referentes à produção total de massa seca da parte aérea.

O material vegetal, após coletado, foi lavado em água destilada, e seco em estufa, com circulação forçada de ar, à temperatura de 65 °C, por 72 horas até atingir peso constante para determinação da massa seca da parte aérea, em cada corte, e peso massa seca da raiz ao final do experimento.

Para avaliação do estado nutricional de *Vetiveria zizanioides* (L.), após moagem da massa seca as amostras foram analisadas para os teores de nutrientes segundo Malavolta et al. (1997). Para o cálculo total dos conteúdos de nutrientes da parte aérea e das raízes, multiplicou-se o teor de cada nutriente pela massa seca dos componentes analisados e, dessa forma, obteve-se o acúmulo de cada nutriente na parte aérea e raízes da gramínea.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. As combinações de AM e AO foram submetidas a estudo de regressão polinomial e a média da testemunha foi comparada com os demais tratamentos pelo teste de F. O teor de nutrientes na parte aérea e acumulada na parte aérea e raízes da gramínea foram estimados substituindo-se a porcentagem de AM para o máximo crescimento nas equações que relacionam a porcentagem de AM com essas variáveis.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se que a produção de massa seca da parte aérea (MSPA), de raízes (MSR) e total (MST) de Vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) aos 140 dias após o corte de uniformização foi influenciada ( $P < 0,05$ ) apenas pela combinação de AM (NPK) (Figura 1). A partir da massa seca das partes analisada as doses de N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$  para se obter a máxima produção de massa seca da espécie nas condições de estudo foi de 50 kg N, 50 kg  $P_2O_5$  e 40 kg  $K_2O$  por ha, que corresponderam a produção de 1,67 t de MSPA; 8,62 t de MSR e 10,28 t por ha.

A testemunha difere ( $P < 0,05$ ) e, é inferior as demais combinações de AM e AO quanto à produção de massa seca do Vetiver cultivada em casa de vegetação em rejeito da mineração de quartzito (Figura 1). Este resultado confirma que a fertilização é eficaz para *Vetiveria zizanioides* crescendo em substrato de baixa fertilidade (XIA et al., 1994). Indica também que a fertilização deve ser indispensável a fim de promover o crescimento das plantas, e consequentemente promoverem a revegetação e a melhoria do habitat em áreas de mineração (XIA., 2004).

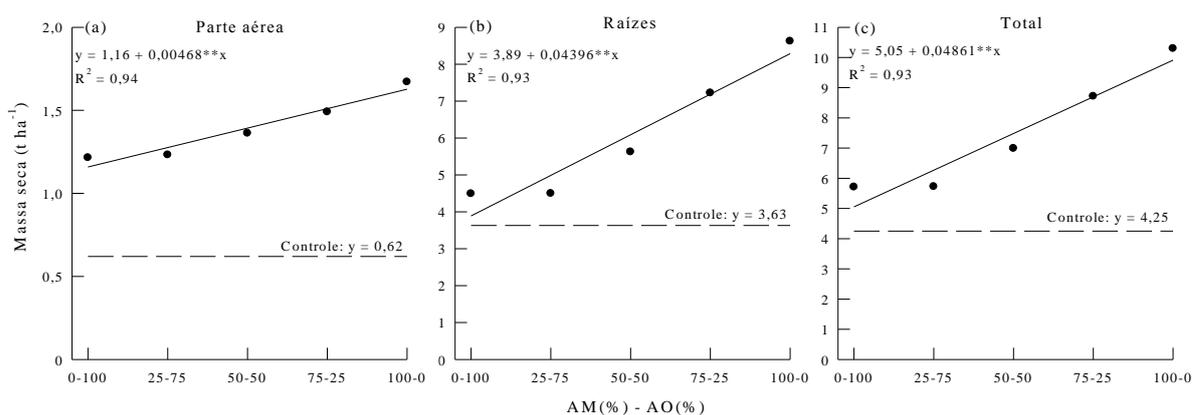


Figura 1. Massa seca da parte aérea (a), das raízes (b) e total (c) de *Vetiveria zizanioides* em função da porcentagem de adubação mineral (AM) e orgânica (AO) aplicada em rejeito da mineração de quartzito num período de 140 dias após o corte de uniformização. (\*\* significativo a 1% pelo teste de t).

A produção de massa seca da parte aérea do Vetiver em rejeito de quartzito no melhor tratamento (100% AM) foi inferior ao trabalho com a mesma espécie em ambiente contaminado com óleo de xisto sem adição de fertilizantes no sudoeste da província de Guangdong (XIA, 2004), na fitorremediação em solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo na Venezuela com doses de fertilização em solo não contaminado o qual receberam doses básicas de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K): 120, 60 e 60 mg kg<sup>-1</sup> solo, e em solos contaminados o qual foram fertilizados com baixo (mg kg<sup>-1</sup>: 220 N, 110 P, e 110 K) e alto (mg kg<sup>-1</sup> de solo: 300 N, P 150, e 150 K ) níveis (BRANDT et al., 2006) e na reabilitação de minas abandonadas e contaminadas por arsênio (PANG, et al., 2003).

Em contrapartida, a produção de massa seca da raiz (8,62 t ha<sup>-1</sup>) foi superior a produção de massa seca da parte aérea (1,66 t ha<sup>-1</sup>) na melhor combinação de AM (Figura 1). As principais características morfológicas de vetiver é a produção de biomassa, finamente estruturado, sistema radicular de rápido crescimento e profundo (GREENFIELD, 2002). A capacidade de tolerar condições de estresse é outra característica importante requerida (SICILIANO e GERMIDA, 1998), além disso, é uma espécie adaptável a uma ampla gama de condições edafoclimáticas ao longo dos trópicos e subtropicais (TRUONG e BAKER, 1997; GREENFIELD, 2002).

A morfologia e a distribuição das raízes de capim vetiver parecem ser muito bem adaptadas para resistir ao cisalhamento do solo. Numerosas e longas raízes de vetiver crescem verticalmente para baixo, e são capazes de penetrar e reforçar o solo, que pode está sujeito à falhas superficiais (MICKOVSKI e VAN BEEK, 2009). As poaceas exercem papel fundamental na recuperação de áreas degradadas, uma vez que, influenciam pelo seu sistema radicular extenso e abundante em constante renovação na agregação do solo, processo

principal para a sua recuperação, ocorre pela ação combinada da matéria orgânica humificada, atividade biológica e raízes das plantas (CAMPOS et al., 1999; SENESI e LOFFREDO, 1999). Estes fatores tornam *Vetiveria zizanioides* uma espécie promissora para a recuperação de áreas degradadas pela mineração de quartzito no Brasil. O elevado potencial para produção de biomassa da espécie, observado com o tratamento 100% AM, se deve ao efeito positivo da adubação mineral. Este efeito na produção de biomassa da parte aérea e de raiz (Figura 1) tem sido relacionado com as modificações nas propriedades químicas do substrato, através do fornecimento de nutrientes.

Respostas positivas à adubação mineral em áreas degradadas foram observadas com diferentes forrageiras gramíneas e leguminosas na recuperação de propriedades químicas e físicas de um solo degradado pela mineração de xisto (MOTTA NETO et al., 1995), e na produção de matéria seca em área degradada, no qual aplicou  $44 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ ,  $160 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ ,  $150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$  e  $13,16 \text{ t ha}^{-1}$  esterco de curral (FAVARETTO et al., 2000).

Os teores de todos os macro e micro nutrientes foram influenciados pela AM, e diferiram da testemunha, exceto N, Ca, Mg, B e Fe (Tabela 2). A avaliação dos teores de nutrientes realizados para *Vetiveria zizanioides* neste trabalho obteve os teores adequados de macro e micronutrientes (Tabela 2). Para a espécie em área degradada pela extração de quartzito, e como na literatura não existem informações quanto os teores foliares para o vetiver nessas condições, as comparações dos teores na parte aérea foram realizadas com estudos no qual definiram as faixas adequadas para os teores de nutrientes em gramíneas forrageiras. As comparações foram realizadas apenas como um referencial, visto que os teores variam com as condições, épocas de cultivo, e idade, dentre outros (FAQUIN et al., 1998).

O teor adequado de N ( $17,10 \text{ g kg}^{-1}$ ) na massa seca da parte aérea do vetiver cultivado em rejeito de quartzito com 100% de AM no qual proporcionou a maior produção de MSPA aos 140 dias está dentro da faixa adequada para gramíneas forrageiras preconizada por Malavolta et al. (1997) que varia de 13 a  $20 \text{ g kg}^{-1}$ . Ao comparar o teor de N entre o controle e o 100% AM, o teor no controle foi superior e está acima da faixa adequada (MALAVOLTA et al., 1997), este resultado deve-se ao efeito da concentração (MARSCHNER, 1995).

O teor adequado de P ( $1,89 \text{ g kg}^{-1}$ ) na parte aérea de *Vetiveria zizanioides* em 100% AM se encontra dentro da faixa adequada de 0,8 a  $3,0 \text{ g kg}^{-1}$  (WERNER et al., 1996) para gramíneas forrageiras. O teor de P na parte aérea do Vetiver no controle está deficiente em P (Tabela 2) (WERNER et al., 1996). Isso demonstra que a quantidade aplicada de P no melhor tratamento para obter a máxima produção de massa seca da parte aérea foi suficiente para atender a demanda nutricional e que a adubação fosfatada é responsiva no crescimento inicial

e na produção de *Vetiveria zizanioides*. O P é um nutriente considerado determinante no crescimento das plantas, uma vez que tem considerável importância no metabolismo do carbono, bem como na formação de açúcares fosfatados (GRANT et al., 2001).

Tabela 2. Equações de regressão ajustadas para os teores de macro e micronutrientes na parte aérea de *Vetiveria zizanioides* em função da porcentagem de adubação mineral aplicada em rejeito da mineração de quartzito, teor de nutrientes correspondente a 100% de adubação mineral (AM) e no controle, num período de 140 dias após o corte de uniformização.

Nutriente <sup>(1)</sup>	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>	AM <sup>(2)</sup>	Controle <sup>(3)</sup>
N	$\hat{y} = \bar{y} = 17,10$	-	17,10 <sup>(4)</sup>	21,99*
P	$\hat{y} = 1,06 + 0,0083**x$	0,90	1,89	0,59*
K	$\hat{y} = 15,53 + 0,0316**x$	0,92	18,69	10,23*
Ca	$\hat{y} = \bar{y} = 1,26$	-	1,26 <sup>(4)</sup>	2,16*
Mg	$\hat{y} = \bar{y} = 0,29$	-	0,29 <sup>(4)</sup>	0,39*
S	$\hat{y} = 2,49 + 0,0303**x$	0,85	5,52	2,32*
B	$\hat{y} = \bar{y} = 43,38$	-	43,38 <sup>(4)</sup>	62,19*
Cu	$\hat{y} = 13,20 - 0,0577**x$	0,81	7,43	32,38*
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 68,44$	-	68,44 <sup>(4)</sup>	111,10
Mn	$\hat{y} = 183,11 - 0,9783**x$	0,92	85,29	59,78*
Zn	$\hat{y} = 46,34 - 0,3360**x + 0,0065**x^2$	0,98	77,67	44,70*

\*\*significativo a 1% pelo teste de t. <sup>(1)</sup> Macronutrientes em g kg<sup>-1</sup> e micronutrientes em mg kg<sup>-1</sup>. <sup>(2)</sup> Teor nutriente na aplicação de 100% AM e 0% AO. <sup>(3)</sup> \* Diferencia a testemunha dos demais tratamentos pelo teste F a 5%. <sup>(4)</sup> Teor médio das combinações de AM e AO.

Com 100% AM, verifica-se que o teor foliar adequado de K (18,69 g kg<sup>-1</sup>) para *Vetiveria zizanioides* está acima da faixa adequada para gramíneas forrageiras de 12 a 13 g kg<sup>-1</sup> (WERNER et al., 1996). No controle houve menor teor de K, possivelmente ao fato de não ter aplicado qualquer tipo de fertilizante nesse tratamento, uma vez que, o teor de K na massa seca também varia com a disponibilidade do nutriente no solo (KANO et al, 2010).

Na massa seca da parte aérea de *Vetiveria zizanioides* cultivada em rejeito de quartzito com 100% de AM, o teor adequado de Ca (1,26 g.kg<sup>-1</sup>) e de Mg (0,29 g.kg<sup>-1</sup>), está abaixo da faixa adequada preconizada por Werner et al., (1996) para gramíneas forrageiras. A textura muito arenosa do substrato com baixa capacidade de troca de cátions (T) (Tabela 1) proporciona menor recomendação de calcário devido ao baixo poder tampão (SAMBATTI et al., 2003), e conseqüentemente, reduzida disponibilidade de Ca e Mg.

Quanto ao macronutriente S, o teor do controle diferiu das combinações de AM e AO (Tabela 2). Enquanto que com 100% AM, o teor adequado de S (5,52 g.kg<sup>-1</sup>) na parte área da gramínea se encontra acima da faixa adequada e no controle (2,32 g.kg<sup>-1</sup>) encontra-se dentro da faixa adequada de 0,8 a 2,5 g kg<sup>-1</sup> (WERNER et al., 1996). O maior teor de S no 100% AM pode ser explicado pelo uso do sulfato de amônio como fonte de N.

O teor adequado de B ( $43,38 \text{ g.kg}^{-1}$ ) na parte aérea de *Vetiveria zizanioides* na combinação de 100% AM (Tabela 2) está acima da faixa adequada considerada para gramíneas forrageiras de 10 a  $25 \text{ g.kg}^{-1}$  (WERNER et al., 1996). O excesso de B no melhor tratamento deveu-se a adubação complementar realizada com ácido bórico no substrato de textura arenosa (Tabela 1), sendo que solo de textura arenosa tem maior disponibilidade de B (ROSOLEM e BISCARO, 2007).

O teor adequado de Cu ( $7,43 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) na parte aérea do capim vetiver se encontra na faixa adequada para gramíneas forrageiras de 7 a  $10 \text{ mg.kg}^{-1}$  (WENER et al., 1996) para 100% AM. No controle verifica-se um teor maior ( $32,38 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) (Tabela 2) sendo que as demandas pelo nutriente em ambos tratamentos foram supridas via substrato, já que não foi realizada adubação com esse micronutriente.

Na parte aérea de *Vetiveria zizanioides*, o teor adequado de Fe ( $68,44 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) em 100% AM encontra-se inferior a faixa adequada de 196 a  $239 \text{ mg.kg}^{-1}$  (WERNER et al., 1996) para gramíneas forrageiras, o mesmo ocorre no controle (Tabela 2). Possivelmente devido a característica do substrato, o qual apresenta-se com baixo teor de argila (Tabela 1), sendo que solos de textura arenosa apresenta baixa disponibilidade de Fe (MARINHO et al., 2002) e ainda, por não ter sido realizada a aplicação desse micronutriente.

O teor adequado de Zn ( $77,67 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) em 100% AM apresenta-se acima da faixa adequada para gramíneas de 29 a  $35 \text{ mg.kg}^{-1}$  (WERNER et al., 1996), isso se deve principalmente a aplicação desse micronutriente e a característica física do substrato de textura arenosa (Tabela 1), diminuindo assim os pontos de adsorção e conseqüentemente maior disponibilidade de Zn para a forrageira. A adsorção é, talvez, o principal processo a ser considerado para o entendimento da disponibilidade de Zn no solo, visto que dá indicativos da solubilidade e mobilidade desse elemento e a conseqüente disponibilidade para as plantas (NASCIMENTO e FONTES, 2004).

Não existe informação detalhada quanto o acúmulo de nutrientes por vetiver em áreas degradadas e, menos ainda, especificamente em áreas de extração de quartzito. As informações quanto ao acúmulo são insuficientes e se restringem a poucos trabalhos. Verificou neste trabalho efeito significativo ( $P < 0,05$ ) para acumulação de N, P, K, B, Cu, Mn e Zn na parte aérea de *Vetiveria zizanioides* em função da porcentagem de AM, exceto para Ca, Mg e Fe (Tabela 3). Verifica-se que os valores acumulados de nutrientes pela gramínea no controle foram sempre inferiores (Tabela 3) ao de 100% AM, isso se deve, de modo geral, a menor produção de massa seca da parte aérea (Figura 1).

Tabela 3. Equações de regressão ajustadas para o acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea e nas raízes na massa seca de *Vetiveria zizanioides* em função da porcentagem de adubação mineral aplicada em rejeito da mineração de quartzito na região de Diamantina, acúmulo máximo (AM) de nutrientes e no controle, num período de 140 dias após o corte de uniformização.

Nutriente <sup>(1)</sup>	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>	AM <sup>(2)</sup>	Controle <sup>(3)</sup>
Parte aérea				
N	$\hat{y} = 19,20 + 0,0926^{**}x$	0,88	28,46	13,60*
P	$\hat{y} = 1,17 + 0,0189^{**}x$	0,91	3,06	0,36*
K	$\hat{y} = 17,76 + 0,1255^{**}x$	0,91	30,31	6,34*
Ca	$\hat{y} = \bar{y} = 1,77$	-	1,77 <sup>(4)</sup>	1,33
Mg	$\hat{y} = \bar{y} = 0,39$	-	0,39 <sup>(4)</sup>	0,24*
S	$\hat{y} = 2,75 + 0,0597^{**}x$	0,97	8,72	1,44*
B	$\hat{y} = 44,94 + 0,5851^{**}x - 0,0037^{**}x^2$	0,93	66,41	38,66*
Cu	$\hat{y} = 14,51 + 0,0756^{**}x - 0,0011^{**}x^2$	0,87	10,64	20,05*
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 94,63$	-	94,63 <sup>(4)</sup>	68,85*
Mn	$\hat{y} = 221,01 - 0,8017^{**}x$	0,84	140,85	36,90*
Zn	$\hat{y} = 57,25 - 0,5770^{**}x + 0,0130^{**}x^2$	0,99	129,56	27,53*
Raízes				
N	$\hat{y} = 41,37 - 0,2353^{**}x + 0,0066^{**}x^2$	0,96	83,89	37,42*
P	$\hat{y} = 0,38 + 0,0033^{**}x$	0,90	0,70	0,25*
K	$\hat{y} = 17,42 + 0,0680^{**}x$	0,93	24,22	9,32*
Ca	$\hat{y} = 9,35 + 0,2838^{**}x$	0,95	37,63	10,13*
Mg	$\hat{y} = \bar{y} = 0,89$	-	0,89 <sup>(4)</sup>	0,42*
S	$\hat{y} = 16,10 + 0,2526^{**}x$	0,85	41,35	6,54*
B	$\hat{y} = 34,74 - 0,2463^{**}x + 0,0013^{**}x^2$	0,86	56,65	187,46
Cu	$\hat{y} = 34,74 - 0,2463^{**}x + 0,0013^{**}x^2$	0,86	19,39 <sup>(4)</sup>	15,45*
Fe	$\hat{y} = 4.145,94 - 58,0091^{**}x + 0,3208^{**}x^2$	0,90	1.553,46	1.979,03
Mn	$\hat{y} = 353,68 + 3,4787^{**}x - 0,0659^{**}x^2$	0,99	43,63	10,07*
Zn	$\hat{y} = 222,84 + 4,8427^{**}x$	0,90	707,11	61,33*

\*\* significativo a 1% pelo teste de t. <sup>(1)</sup> Macronutrientes em kg ha<sup>-1</sup> e micronutrientes em g ha<sup>-1</sup>. <sup>(2)</sup> Acúmulo máximo na aplicação de 100% AM e 0% AO. <sup>(3)</sup> \* Diferencia a testemunha dos demais tratamentos pelo teste F a 5%. <sup>(4)</sup> Acúmulo médio das combinações de AM e AO.

Dentre os macronutrientes, os maiores acúmulos na parte aérea e na raiz da forrageira foram de N e K, sendo o P acumulado em menores quantidades (Tabela 3). Os valores acumulados para os macronutrientes na parte aérea apresentaram a seguinte ordem de acúmulo: K > N > S > P > Ca > Mg (Tabela 3). Dentre os micronutrientes, na parte aérea a ordem decrescente das quantidades acumuladas ocorreu para Mn > Zn > Fe > B > Cu (Tabela 3).

Os acúmulos de macronutrientes foram superiores na forrageira conhecida como capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) em ambiente não degradado (FRANCISCO et al., 2007).

Para fins de utilização da espécie em projetos de recuperação tem-se que o acúmulo de nutrientes pela espécie foi inferior aos encontrados por Cunha et al. (1993) em estudo sobre a dinâmica de nutrientes em Floresta Estacional Decidual, sendo K o elemento que mais acumulou seguido pelo N.

Os maiores acúmulos dos nutrientes N, Ca, Mg, S, Cu, Fe e Zn tanto em 100% AM como no controle foram observados na raiz de *Vetiveria zizanioides* (Tabela 3), devido, principalmente a maior produção de massa seca nesse componente vegetal (Figura 1).

Os valores acumulados para os macronutrientes na raiz em 100% AM apresentaram na seguinte ordem de acúmulo: N > S > Ca > K > Mg > P (Tabela 3). Enquanto que para os micronutrientes acumulados na raiz, a ordem decrescente das quantidades ocorreu para Fe > Zn > B > Mn > Cu (Tabela 3).

## CONCLUSÕES

1. O rejeito de quartzito com a adubação mineral de NPK é um habitat favorável para o crescimento de *Vetiveria zizanioides*.

2. A adubação mineral com as doses correspondentes de 50 kg N, 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 40 kg K<sub>2</sub>O por ha é recomendada para o cultivo de vetiver em rejeito de quartzito.

3. Os teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, e Zn na parte aérea de *Vetiveria zizanioides* foram 17,10; 1,89; 18,69; 1,26; 0,29; 5,52; 43,38; 7,43; 68,44; 85,29 respectivamente .

4. A *Vetiveria zizanioides* não respondeu a adubação orgânica em rejeito da mineração de quartzito.

5. O acúmulo de nutrientes na espécie *Vetiveria zizanioides* nas doses recomendadas foi na seguinte ordem na parte aérea para macro: K > N > S > P > Ca > Mg ;e para micro: Mn > Zn > Fe > B > Cu e nas raízes para macro: N > S > Ca > K > Mg > P ; e para micro: Fe > Zn > B > Mn > Cu.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de mestrado. A Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri pela infraestrutura necessária á condução do experimento. A Deflor Bioengenharia pela doação das mudas de *Vetiveria zizanioides*.

## REFERÊNCIAS

- BRANDT, R., MERKL, N., SCHULTZE-KRAFT, R., INFANTE, C., BROLL, G. Potential of vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) for phytoremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soils in Venezuela. **International Journal of Phytoremediation**, Philadelphia, v. 8, n.4, p. 273–284, 2006.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; CASSOL, L.C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.383-391, 1999.
- CUNHA, G.C. Dinâmica nutricional em floresta estacional decidual com ênfase aos minerais provenientes da deposição da serapilheira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.3, n.1, p.35-64, 1993.
- DUARTE, E.G. **Ciclagem de nutrientes por árvores em sistemas agroflorestais na Mata Atlântica**, 2007. 115f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2007.
- ERSKINE, J.M. Vetiver grass: its potential use in soil and moisture conservation in Southern Africa. **South African Journal of Science**, África, v.88, n.6, p. 298-299, 1992.
- FAQUIN, V.; MORIKAWA, C.K., EVANGELISTA, A.R., CURI, N.; WERNWK, M.R. MARQUES, E.S. Nutrição em macro e micronutrientes de gramíneas forrageiras cultivadas em Latossolo da região dos Campos das Vertentes – MG, Brasil. **Pasturas tropicales**, Cali, v.20, n.2, 1998.
- FAVARETTO, N.; MORAES, A.; MOTTA, A.C.V.; PREVEDELLO, B.M.S. Efeito da revegetação e da adubação de área degradada na fertilidade do solo e nas características da palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.2, p.289-297, 2000.
- FRANCISCO, E.A.B.; CAMARA, G.M.S.; SAGATELLI, C.R. Estado nutricional e produção do capim-pé-de-galinha e da soja cultivada em sucessão em sistema antecipado de adubação. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.2, p.259-266, 2007.
- GENTILI, R.; SGORBATI, S.; BARONI, C. Plant Species Patterns and Restoration Perspectives in the Highly Disturbed Environment of the Carrara Marble Quarries (Apuan Alps, Italy). **Restoration Ecology**, Australia, v.19, n.101, p.32-42, 2011.
- GRANT, C.A.; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n.95, p.1-5, 2001.
- GREENFIELD, J.C. **Vetiver Grass: An essential grass for the conservation of planet Earth**. Haverford: PA-USA, 2002. 260 p.
- GREENFIELD, J.C. **Vetiver Grass: The ideal plant for vegetative soil and moisture conservation**. Washington: The World Bank, DC, USA, 1989. 171 p.

HELLIN, J., HAIGG, M.J. Better land husbandry in Honduras: towards the new paradigm in conserving soil, water and productivity. **Land Degradation Development**, Oxford, v.13, n.3, p.233-250, 2002.

KALMBACHER, R.S., MARTIN, F.G. Effect of flooding on seed germination and emergence of three pasture grasses. **Soil & Crop Science Society of Florida**, Florida, v.57, n.3, p. 73-77, 1998.

KANO, C.; CARDOSO, A.; VILLAS BÔAS, R.L. Influencia de doses de potássio nos teores de macronutrientes em plantas e sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v.28, n.3, p.287-291, 2010.

KE, C., FENG, Z., WU, X., TU, F. Design principles and engineering samples of applying vetiver ecoengineering technology for steep slope and riverbank stabilization. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON VETIVER, 3, 2003, Guangzhou, China. **Proceedings...** Beijing: China Agricultural Press, 2003. p.365-374

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARINHO, C.S.; MONNERAT, P.H.; CARVALHO, A.C.C.; MARINS, L.D.; VIEIRA, A. Análise química do pecíolo e limbo foliar como indicadora do estado nutricional dos mamoeiros 'Solo' e 'Formosa'. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.2, p.373-381, 2002.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. New York: Academic Press, 1995. 889p.

MICKOVSKI, S.B.; VAN BEEK, L.P.H. Uprooting of vetiver uprooting resistance of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*). **Plant and Soil**, Netherlands, v.278, n.1-2, p.33-41, 2005.

MOTTA NETO, J.A. **Avaliação do uso de forrageiras e de adubações na recuperação de propriedades químicas e físicas de um solo degradado pela mineração do xisto**. 1995. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal Paraná, Curitiba. 1995.

MUCCIARELL, M., GALLINO, M.; SCANNERINI, S., MAFFEI, M. Callus induction and plant regeneration in *Vetiveria zizanioides*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Dordrecht., v.35, n.3, p.267-271, 1993.

NASCIMENTO, C.W.A; FONTES, R.L.F. Correlação entre características de latossolos e parâmetros de equações de adsorção de cobre e zinco. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v.28, n.6, p.965-971, 2004.

PANG J.; CHAN G.S.Y.; ZHANG, J.; LIANG, J.; WONG, M.H. Physiological aspects of vetiver grass for rehabilitation in abandoned metalliferous mine wastes. **Chemosphere**, Oxford, v.52, n.1, p.1559-1570, 2003.

REYNOLDS, C.M.; WOLF, D.C.; GENTRY, T.J.; PERRY, L.B.; PIDGEON, C.S.; KOENEN, B.A.; ROGERS, H.B.; BEYROUTY, C.A. Plant enhancement of indigenous soil microorganisms: a low-cost treatment of contaminated soils. **Polar Record**, Cambridge, v.35, n.192, p.33-40, 1999.

SENESI, N.; LOFFREDO, E. The chemistry of soil organic matter. In: SPARK, D.L. (Ed.). **Soil physical chemistry**. Boca Raton: CRC Press, 1999. p.239-370

SETHI, K.L., GUPTA, R. Breeding for high essential oil content in Khas (*Vetiveria zizanioides*) roots. **Indian Perfumer**, India, v. 24, n.2, p.72-78, 1960.

SICILIANO, S.D.E; GERMIDA, J.J. Mechanisms of phytoremediation: biochemical and ecological interactions between plants and bacteria. **Environmental Review**, Seattle, v.6, n.35, p.65-79. 1998.

TRUONG, P.N.V. **Vetiver grass technology for mine tailings rehabilitation**. Bangkok: Pacific Rim Vetiver Network, 1999. 18p. (Technical Bulletin, 1999/2).

TRUONG, P., LOCH, R. Vetiver system for erosion and sediment control. In: INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANISATION CONFERENCE, 13, 2004, Brisbane, Australia. **Proceedings...** Brisbane: Conserving Soil and Water for Society: Sharing Solutions, 2004. p.1-6

TRUONG, P.; BAKER, D. The role of vetiver grass in the rehabilitation of toxic and contaminated lands in Australia. In: INTERNACIONAL VETIVER WORKSHOP, 1, 1997, Fuzhou, China. **Proceedings...** Fuzhou: Vetiver Research and Development, 1997. p.21–26.

WERNER, J.C.; PAULINO, V.T.; CANTARELLA, H. Forrageiras. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. p.263-273.

XIA, H.P., SHU, W.S. Resistance to and uptake of heavy metals by *Vetiveria zizanioides* and *Paspalum notatum* from lead/zinc mine tailings. **Acta Ecologica Sinica**, China, v.21, n.7, p.1121-1129, 2001.

XIA, H.P. Ecological rehabilitation and phytoremediation with four grasses in oil shale mined land. **Chemosphere**, Oxford, v.54, n.1, p. 345-353, 2004.

## ARTIGO CIENTÍFICO IV

### AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DE *Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeish EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA EM REJEITO DA MINERAÇÃO DE QUARTZITO.

#### RESUMO

Com o objetivo de avaliar o comportamento da *Eremanthus erythropappus* sob a influência da adubação mineral e orgânica quando cultivada em rejeito da mineração de quartzito visando subsidiar ações voltadas para a recuperação de áreas de exploração. Conduziu-se um experimento em casa de vegetação em delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de cinco combinações de adubação orgânica (AO) e mineral (AM) e um tratamento adicional do rejeito sem AO e AM (Controle). As combinações foram: 0%AO/100%AM; 25%AO/75%AM; 50%AO/50%AM; 75%AO/25%AM; 100%AO/0% AM. As doses de 100% de AM e AO foram de 150 mg de N, 140 mg de P, 150 mg de K, e 5 g de esterco de curral por dm<sup>3</sup> de rejeito. A *Eremanthus erythropappus* respondeu a adubação mineral e orgânica com as doses recomendadas de 75 mg N, 70 mg P e 75 mg K e 2,5 g de esterco de curral, por dm<sup>3</sup> de rejeito da mineração de quartzito. O acúmulo de nutrientes na espécie *Eremanthus erythropappus* nas doses recomendadas foi na seguinte ordem na parte aérea: K > N > P > Ca > Mg > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu. O uso da adubação mineral NPK e orgânica no rejeito de quartzito favoreceram o crescimento da *Eremanthus erythropappus*.

**Palavras-chave:** Área degradada, teor adequado, estado nutricional, candeia.

## ABSTRACT

### **GROWTH OF *Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeish BY MINERAL AND ORGANIC FERTILIZATION ON THE STERILE REJECT MINING QUARTZITE**

In order to evaluate the behavior of *Eremanthus erythropappus* grown in sterile tailings from mining of quartzite under the influence of mineral and organic fertilization to support actions for the recovery of exploration areas of quartzite, was conducted an experiment at greenhouse in a completely randomized design with four replications. The treatments consisted of five combinations of mineral (MF) and organic (OF) fertilizer and an additional treatment of the sterile reject without MF and OF (Witness). The combinations were: 0%OF/100%MF; 25%OF/75%MF; 50%OF/50%MF; 75%OF/25%MF; 100%OF/0% MF. Doses of 100% MF and OF were de 150mg de N, 140mg de P, 150mg de K, e 5g manure bovine per dm<sup>3</sup> of sterile. The *Eremanthus erythropappus* responded to mineral fertilization with recommended doses of 75mg N, 70mg P e 75mg K e 2,5g manure bovine per dm<sup>3</sup> of sterile tailings from mining of quartzite. The accumulation of nutrients in the species *Eremanthus erythropappus* at recommended doses was in the following order in shoot: K > N > P > Ca > Mg > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu. It is concluded that the barren waste of quartzite form a favorable habitat for growth of the candle in the study conditions. The use of NPK fertilizers and organic waste in barren quartzite favored the growth of *Eremanthus erythropappus*.

**Keywords:** Degraded area. Nutritional status. Nutrients accumulation. Candeia.

## INTRODUÇÃO

A ocorrência de áreas degradadas advindas da atividade de mineração no Brasil torna-se cada vez mais freqüente e preocupante. Na região de Diamantina (MG) o declínio da mineração de diamante devido à interrupção das descobertas e o gradativo esgotamento das minas em operação estão levando a descoberta e a exploração de maciços de quartzito, havendo a degradação da vegetação existente, da composição e de sua estrutura, criando um ambiente bastante inóspito ao crescimento de plantas (WILLIAMSON et al., 2011).

A atividade de mineração contribui para a redução dos processos de regeneração natural (CULLEN et al., 1998) desfavorecendo o restabelecimento natural das espécies pelo fato de haver a remoção da serapilheira, que contém sementes de plantas herbáceas, arbustivas e arbóreas que formam o banco de sementes e de plântulas que são partes integrantes da população vegetal (WILLIAMS, 1984). E, para que os processos de colonização de comunidades vegetais sejam acelerados, faz-se necessário nessas áreas degradadas os plantios de enriquecimento, uma vez que é crescente o desequilíbrio ecológico nesses ambientes.

Dentre as espécies autóctones que podem ser indicadas para compor os plantios nessas áreas degradadas destaca-se a candeia (SCOLFORO et al., 2002; FEITOSA et al., 2008; SILVA et al., 2007). A espécie arbórea *Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeish, popularmente conhecida como candeia, pertence à família Asteraceae, é uma espécie indicada para a recuperação de áreas degradadas, pois ocorre naturalmente em solos pobres, arenosos e pedregosos (RIZZINI, 1979), além disso, possui um sistema radicular profundo, com maior quantidade de raízes, principalmente de raízes finas, que possam melhor nutrir a planta, promovendo, assim, maior capacidade de crescimento e desenvolvimento. De acordo com Lorenzi (1992) é considerada uma árvore de hábitat especial, pois em áreas nativas é encontrada em altitudes em torno de 1.000 m, em solos pobres como o Cambissolo e Litossolo, com afloramento de rochas.

Dessa maneira a candeia apresenta atributos que justifica seu uso em plantios com fins para a restauração ambiental, no entanto, o pouco conhecimento do comportamento dessa espécie, principalmente em relação as suas exigências nutricionais em áreas degradadas pela mineração de quartzito torna sua utilização comprometida em programas de restauração.

O objetivo do trabalho foi avaliar o comportamento de *Eremanthus erythropappus* sob a influência da adubação mineral e orgânica quando cultivada em rejeito da mineração de quartzito para apoiar ações voltadas para a recuperação nas áreas de exploração.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de janeiro de 2011 a abril de 2011, em condições de casa de vegetação no Campus JK da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), em Diamantina, MG, Brasil (18°12'S; 43°34'W e altitude de 1.370 m).

Para instalação do experimento utilizou-se o rejeito da mineração de quartzito oriundo das áreas de exploração localizada no município de Diamantina (MG), no qual foi retirada uma amostra para análise química e de textura do substrato. A amostra do substrato foi secada ao ar, e passada em peneira de 2,0 mm de abertura, sendo posteriormente realizadas análises químicas (SILVA, 2009) e de textura do substrato (EMBRAPA, 1997) (Tabela 1). Os resultados da análise química foram ajustados para o todo da constituição granulométrica dos rejeitos de quartzito.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com cinco combinações de adubação orgânica (AO) e mineral (AM) e um tratamento adicional (Controle), com quatro repetições. As combinações de 0%AO/100%AM; 25%AO/75%AM; 50%AO/50%AM; 75%AO/25%AM; 100%AO/0%AM; que corresponderam as doses de 150 mg de N, 140 mg de P, 150 mg de K, por dm<sup>3</sup> de rejeito, sem adição de esterco de curral; 112,5 mg de N, 105 mg de P, 112,5 mg de K e 1,25 g de esterco de curral; 75 mg de N, 70 mg de P, 75 mg de K e 2,5 g de esterco de curral; 37,5 mg de N, 35 mg de P, 37,5 mg de K e 3,75 g de esterco de curral; 5 g de esterco por dm<sup>3</sup> de rejeito sem adição de fertilizante mineral. As doses que corresponderam a 150 mg de N por dm<sup>3</sup> de rejeito, e 150 mg de K por dm<sup>3</sup> de rejeito foi recomendado segundo trabalho realizado por Venturin et al. (2005), no qual avaliou os aspectos nutricionais e os efeitos da omissão de nutrientes no desenvolvimento de plântulas de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeish), já a dose que correspondia no trabalho de Venturin et al. (2005) a 200 mg de P por dm<sup>3</sup> de Latossolo Vermelho-Amarelo, sofreu uma redução para 140 mg de P por dm<sup>3</sup> de rejeito, por se tratar de substrato de textura muito arenosa (Tabela 1) (MACHADO et al., 2011). O N, P, e K foram aplicados na forma de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. A dose de 5 g de esterco de curral por dm<sup>3</sup> de rejeito foi recomendada segundo a CFSEMG (1999).

A parcela experimental foi composta por vaso de plástico de 5 dm<sup>3</sup> onde foram colocados 3 dm<sup>3</sup> de rejeito de quartzito seco, que se obteve densidade uniforme de 0,93 g cm<sup>-3</sup>. Os vasos tiveram o fundo fechado para evitar perda de nutrientes e de água.

Tabela 1. Análise química e de textura do rejeito da mineração de quartzito.

pH <sub>água</sub>	P	K	Ca	Mg	Al	T	m	V	MO	Cascalho/ Calhaus	Areia	Silte	Argila
	- mg dm <sup>-3</sup> -		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				----	---- % -----	-----	----- g kg <sup>-1</sup> -----			
5,0	1,2	5,3	0,5	0,2	0,2	1,7	24	41	7,1	340,4	554,0	99,0	6,6

pH<sub>água</sub> - Relação solo-água 1:2,5. P e K - Extrator Mehlich-1. Ca, Mg e Al - Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. T - Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. m - Saturação de alumínio. V - Saturação por bases. MO - Matéria orgânica determinado através da multiplicação do resultado do carbono orgânico pelo método Walkey-Black por 1,724. Cascalho/calhaus - Tamisação em peneira de 2,0 mm. Areia, silte e argila - Método da pipeta.

Na instalação do experimento foram aplicados 0,119 g de calcário dolomítico por dm<sup>3</sup> de rejeito para fornecimento de Ca e Mg pelo método da saturação por bases para elevação de V para 55% (ALVAREZ e RIBEIRO, 1999). Na mesma época foi realizada a adubação fosfatada e a adubação orgânica em acordo com combinações de AM e AO descritas. O material de rejeito foi incubado por mais 30 dias, sendo a umidade do material mantida durante todo o experimento em 60% do volume total de poros (VTP), aferida diariamente através de pesagem, completando-se o peso com água deionizada. Uma semana antes do plantio das mudas foi feita a adubação básica de B (ácido bórico) e Zn (sulfato de zinco) na dose de 0,0005 g de B e 0,001 g de Zn por dm<sup>3</sup> de rejeito (CANTARUTTI et al., 1999).

As sementes de candeia foram coletadas em árvores selecionadas no campo e colocadas para germinar em substrato composto por uma mistura de um terço de solo esterilizado, um terço de casca de arroz carbonizada e um terço de areia. Realizou-se a repicagem das mudas, o destorroamento e a lavagem das raízes em água destilada, sendo posteriormente transplantadas para os vasos de plástico em raiz nua.

Foram transplantadas duas mudas com quatro pares de folhas, por vaso. Após 30 dias foi feito o desbaste, deixando-se apenas uma planta por vaso. As mudas selecionadas para o experimento apresentavam altura média de 0,11 m e diâmetro médio de 3,81 mm.

As adubações potássicas e nitrogenadas em cobertura iniciaram 15 dias após o transplantio das mudas e foram parceladas em quatro vezes e com aplicações realizadas em intervalos de 15 dias.

Após um período experimental de 120 dias foram avaliadas as seguintes variáveis: altura das mudas, medida do colo até a gema apical obtida entre a superfície do substrato e a inserção do último par de folhas do ápice, com régua graduada de precisão de 1,0 mm; diâmetro do caule medido na altura do colo obtido com auxílio de um paquímetro digital modelo com precisão de 0,01 mm. Depois de medidos os diâmetros e as alturas, as mudas foram cortadas rente ao solo e pesadas. O material vegetal, após coletado, foi lavado em água

destilada, e seca em estufa, com circulação forçada de ar, à temperatura de 65°C, por 72 horas até atingir peso constante para determinação da massa seca da parte aérea, e peso massa seca da raiz ao final do experimento.

Para avaliação do estado nutricional de *Eremanthus erythropappus* sob AO e AM em rejeito da mineração de quartzito, após moagem da massa seca, as amostras foram analisadas para os teores de nutrientes segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). Para o cálculo total dos conteúdos de nutrientes da parte aérea da candeia, multiplicou-se o teor de cada nutriente pela massa seca da parte aérea e, dessa forma, obteve-se o acúmulo de cada nutriente na parte aérea da espécie.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Para se obter a porcentagem de AM e AO que proporcionou o melhor crescimento das mudas de candeia utilizou-se de um procedimento multivariado através do processo da variável canônica (MORRISON, 1967). Com a variável canônica de maior autovalor obteve-se os escores a partir do vetor observação de cada unidade experimental das variáveis de crescimento das mudas de candeia estudadas, reduzindo-o para único valor. Tais escores foram submetidos à análise de variância univariada e as combinações de AM e AO foram submetidas a estudo de regressão polinomial e a média do controle foi comparada com os demais tratamentos pelo teste de F.

O teor adequado e acumulado de nutrientes na parte aérea da candeia foi estimado substituindo-se a porcentagem de AM e AO para o máximo crescimento nas equações que relacionam a porcentagem de AM e AO com essas variáveis. Foi utilizado o programa SAS for Windows pelo procedimento PROG GLM e REG para os procedimentos estatísticos.

## RESULTADO E DISCUSSÃO

As características de crescimento das mudas de candeia apresentaram influência da adubação mineral (AM) e orgânica (AO) aplicada no rejeito da mineração de quartzito (Tabela 2). O tratamento controle (sem AM e AO) foi inferior as demais combinações de AM e AO quanto às variáveis de crescimento da espécie (Tabela 2). Pelos escores de crescimento das mudas de candeia da variável canônica ( $VC = 0,3230\text{Diâmetro} - 3,0241\text{Altura} - 0,2274\text{MSPA} + 0,8934\text{MSR} - 1,0723\text{Relação MSR/MSPA}$  com autovalor = 91 %) verificou-se que o máximo crescimento foi atingido com a porcentagem de 50% de AM e 50% de AO (Figura 1), que corresponde a dose de 75 mg N, 70 mg P e 75 mg K e 2,5 g de esterco de curral por  $\text{dm}^3$  de rejeito da mineração de quartzito.

Tabela 2. Diâmetro do caule, altura de mudas, massa seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR) e relação de MSR e MSPA de mudas de candeia aos 120 dias em função da porcentagem de adubação mineral (AM) e orgânica (AO) aplicada em rejeito da mineração de quartzito.

AM	AO	Diâmetro	Altura	MSPA	MSR	Relação
	%	(mm)	(m)	(g)	(g)	MSR/MSPA
100	0	3,85	0,17	1,26	0,36	0,28
75	25	4,40	0,22	2,21	0,69	0,31
50	50	6,80	0,34	8,63	3,72	0,43
75	25	5,94	0,28	5,16	1,56	0,28
0	100	5,01	0,21	2,51	0,51	0,20
Controle <sup>(1)</sup>		4,55	0,16	1,52	0,38	0,28
Média		5,09	0,23	3,55	1,20	0,29
CV(%)		12,84	28,56	25,05	36,49	25,35

<sup>(1)</sup>\* Diferença do controle das porcentagens de adubação mineral (AM) e orgânica (AO) pelo teste F a 5%.

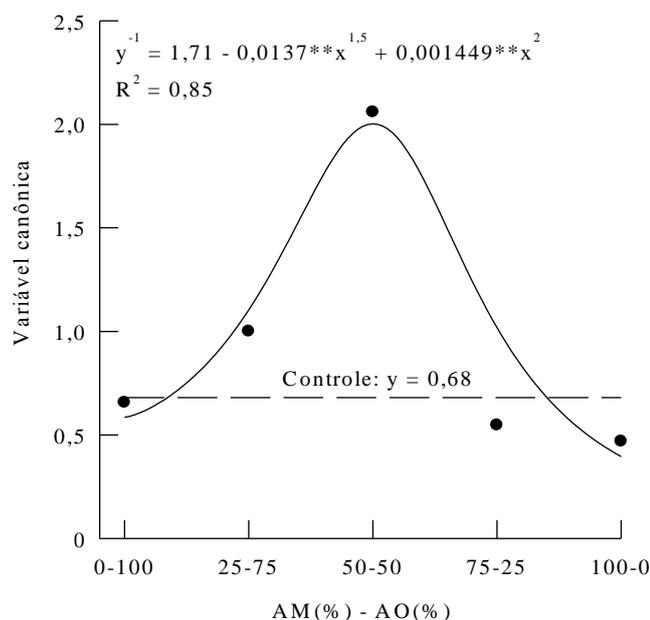


Figura 1. Escore da variável canônica da análise multivariada em função da porcentagem de adubação mineral (AM) e orgânica (AO) aplicada em rejeito da mineração de quartzito no crescimento de mudas de candeia. (\*\* significativo a 1% pelo teste de t).

As combinações não adequadas de AM e AO mostrou-se limitante, afetando em geral o crescimento das mudas de candeia em altura, diâmetro e produção de massa seca da parte aérea e da raiz (Tabela 2). O maior crescimento da espécie, observado com a combinação de 50% AM e 50% AO em relação aos demais tratamentos e ao controle, se deve ao efeito positivo da matéria orgânica combinada adequadamente a adubação mineral. Este efeito no crescimento pode ser relacionado com as modificações nas propriedades físicas do substrato, que por sua vez, influencia na capacidade de infiltração e retenção de água, drenagem,

aeração, temperatura e penetração do sistema radicular (KANG, 1991; VARANINE et al., 1993).

Em termos de alteração na partição de matéria seca, entre raízes e parte aérea (relação R/PA), diante das mudanças de disponibilidade dos nutrientes em função das combinações de adubação, observou-se que a candeia teve maior relação na combinação de 50% AM e 50% AO apresentando relação de 0,43, sendo o controle com menor relação (0,28) (Tabela 2). Daniel et al. (1997) registraram em mudas de *Acacia mangium* valor de 0,45 na relação R/PA pela aplicação de 260 mg de P. Esses autores consideram como valores ideais para a produção de mudas a serem levadas ao campo, uma relação situada entre a 0,45 e 0,50.

O crescimento das plantas de candeia foi maior na combinação de 50% AM e 50% AO (Tabela 2 e Figura 1), mostrando que a AM e AO são fundamentais no crescimento inicial da espécie em substrato resultante da mineração de quartzito. Resposta positiva a adubação mineral e orgânica foram encontradas em Erva-mate (*Ilex paraguariensis* st. hil.) cultivada em Latossolo Vermelho com aplicação de 80,5 g de N por ano, 25g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 75 g K<sub>2</sub>O e 4,5 kg de cama de aviário por planta (PANDOLFO et al., 2003) e em três espécies florestais (*Cedrela odorata*, *Schinus terebinthifolius* e *Acacia holosericea*) com aplicação de adubo orgânico nas doses recomendadas de 1 litro/cova de esterco de galinha e de esterco bovino e com aplicação de adubação mineral NPK-20-05-20 (7g cova<sup>-1</sup>) (SOUZA et al., 2006).

A adubação orgânica normalmente resulta em efeitos benéficos na formação de mudas de espécies florestais, como os relatados para oiti (*Licania tomentosa* Benth.) adubado com composto de lixo urbano (ALVES e PASSONI, 1997) e angelim (*Andira fraxinifolia* Benth.) adubado com esterco bovino (CARVALHO FILHO et al., 2004).

Respostas positivas somente com adubação mineral N, P e K foram observados em diversos trabalhos, com a mesma espécie (VENTURIN, et al., 2005); e com outras espécies como candiúva (*Trema micrantha*) (VENTURIN et al., 2000), *Acacia mangium* (DIAS et al., 1991), cedro (*Cedrela fissilis*) (SILVA e MUNIZ, 1995), peroba rosa (*Aspidosmerma polyneurom*) (MUNIZ e SILVA, 1995); linho (*Linum usitatissimum*) (SANCHEZ VALLDUVI e FLORES, 1999), sete-cascas (*Samanea inopinata*) (CRUZ et al., 2006), grápia (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride) em Argissolo Vermelho distrófico arênico (NICOLOSO et al., 2009); para aroeirinha (*Schinus terebinthifolius* Raddi), paineira (*Chorisia speciosa* St. Hill.), e jambolão (*Syzygium jambolanum* Lam.) (FERNANDES et al., 2000).

Existem diversos métodos de avaliar o estado nutricional das plantas, sendo um dos principais a diagnose foliar (GESSEL et al., 1960; MAGALHÃES e BLUM, 1999).

Os teores de todo o macro e micronutrientes foram influenciados pela AM e AO que diferiram do controle, exceto, Fe e Cu (Tabela 3). A avaliação do estado nutricional de *Eremanthus erythropappus* permitiu obter os teores adequados de macro e micronutrientes (Tabela 3) para a espécie em área degradada pela extração de quartzito. Não existem informações quanto à concentração foliar de nutrientes para a espécie nessas condições, os teores foliares de nutrientes na parte aérea foram comparados com os teores foliares de nutrientes considerados adequados para essências florestais (MALAVOLTA et al., 1997).

O teor adequado de N na massa seca da parte aérea de candeia cultivada em rejeito de quartzito com 50% de AM e 50% AO no qual proporcionou o maior crescimento das plantas de candeia aos 120 dias (Tabela 3) está dentro da faixa adequada para essências florestais preconizada por Malavolta et al. (1997) que varia de 12 a 35 g kg<sup>-1</sup>. Ao comparar o teor de N no melhor tratamento com o controle (ausência de adubação nitrogenada), tem que, o teor no controle (Tabela 3) foi inferior e está abaixo da faixa adequada (MALAVOLTA et al., 1997), confirmando a importância recíproca da AM e AO quanto à disponibilidade de N para atender a demanda nutricional da espécie. No estágio juvenil a demanda de N é muito elevada (GONÇALVES et al., 2000) e a maior absorção e assimilação de N é aceita como uma das principais causas da resposta em crescimento (VAZ et al., 2002).

A concentração do P na parte aérea de candeia na combinação de 50% AM e 50 % AO e no controle (Tabela 3) encontra-se acima da faixa adequada de 1,0 a 2,3 g kg<sup>-1</sup> (MALAVOLTA et al., 1997) para essências florestais. Observa-se que até mesmo o controle apresentou concentração de P acima da faixa adequada para espécies florestais. Esse comportamento pode ser explicado pela textura arenosa do substrato e pela presença da matéria orgânica (Tabela 1). A disponibilidade de P no solo é um fator que interfere diretamente na sua absorção pelas plantas (MACHADO et al., 2011). Essa disponibilidade pode ser influenciada pela textura do solo, sendo que a adsorção de P em solos arenosos é menor que em solos argilosos (FALCÃO e SILVA, 2004) e que a adsorção de fosfato é menor na presença de matéria orgânica (BHATTI et al., 1998), além dela ser fonte de P para as plantas (VIEIRA et al., 1993; RHEINHEIMER et al., 2000; CASSOL et al., 2001).

Espécies arbóreas tendem a apresentar elevada capacidade de absorção de P em sua fase inicial de crescimento, podendo, inclusive, apresentar significativo potencial de acúmulo de P-inorgânico no vacúolo das células (GRESPLAN, 1997). O P é um nutriente considerado determinante no crescimento das plantas, uma vez que tem considerável importância no metabolismo do carbono, bem como na formação de açúcares fosfatados (GRANT et al., 2001).

Tabela 3. Equações de regressão ajustadas para os teores de macro e micronutrientes na parte aérea de candeia em função da porcentagem de adubação mineral aplicada em rejeito da mineração de quartzito, teor de nutrientes correspondente a 50% de adubação mineral (AM) e no controle, num período de 120 dias.

Nutriente <sup>(1)</sup>	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>	AM <sup>(2)</sup>	Controle <sup>(3)</sup>
N	$\hat{y} = 11,21 + 0,1696^{**}x - 0,0013^{**}x^2$	0,83	16,44	9,05*
P	$\hat{y} = 0,85 + 0,0815^{**}x$	0,93	4,93	2,44*
K	$\hat{y} = 15,13 + 0,1013^{**}x$	0,88	20,20	9,65*
Ca	$\hat{y} = 2,49 + 0,0209^{**}x - 0,0002^{**}x^2$	0,86	3,02	2,40*
Mg	$\hat{y} = 0,52 + 0,0496^{**}x - 0,0005^{**}x^2$	0,83	1,83	0,39*
S	$\hat{y} = 2,79 - 0,0242^{**}x$	0,91	1,35	0,70*
B	$\hat{y} = 129,79 - 3,1977^{**}x + 0,0320^{**}x^2$	0,85	49,85	44,03*
Cu	$\hat{y} = \bar{y} = 14,50$	-	14,50	10,76
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 78,35$	-	78,35	90,33
Mn	$\hat{y} = 375,44 + 3,7650^{**}x$	0,95	563,69	270,01*
Zn	$\hat{y} = 10,94 + 0,1948^{**}x$	0,97	20,69	12,50*

\*\*significativo a 1% pelo teste de t. <sup>(1)</sup> Macronutrientes em g kg<sup>-1</sup> e micronutrientes em mg kg<sup>-1</sup>. <sup>(2)</sup> Teor nutrientes na aplicação de 50 % AM e 50 % AO. <sup>(3)</sup> \* Diferencia do controle dos demais tratamentos pelo teste F a 5%. <sup>(4)</sup> Teor médio das combinações de AM e AO.

Com 50% AM e 50% AO, verifica-se que o teor foliar de K (Tabela 3) para a espécie está acima da faixa adequada (10 a 15 g kg<sup>-1</sup>) (MALAVOLTA et al., 1997) para essências florestais. Na parte aérea do tratamento controle verificou o menor teor de K (Tabela 3), possivelmente devido ao fato de não ter aplicado qualquer tipo de fertilizante, considerando que o teor de K na massa seca também varia com a disponibilidade do nutriente no solo (KANO et al., 2010). No presente estudo, observou-se que o K foi o elemento encontrado em maior concentração na parte aérea da candeia. Tal fato deveu-se, muito provavelmente, às características de fertilidade do substrato após a fertilização mineral e orgânica, uma vez que, o esterco de curral é uma fonte orgânica de K para as plantas (MACHADO et al., 1983; GALVÃO et al., 2008).

Na massa seca da parte aérea de candeia cultivada em rejeito de quartzito com 50% de AM e 50% AO, os teores de Ca e de Mg (Tabela 3), estão dentro da faixa adequada preconizada por Malavolta et al. (1997) para essências florestais de 3 a 12 g kg<sup>-1</sup> de Ca e de 1,5 a 5,0 g kg<sup>-1</sup> de Mg. Estes teores de Ca e de Mg do substrato foram supridos via aplicação de calcário dolomítico para fornecimento de Ca e Mg pelo método da saturação por bases para 55% , considerados suficientes para suprir as necessidades das plantas nessa fase.

Quanto ao macronutriente S, o teor do controle diferiu das combinações de AM e AO (Tabela 3). Enquanto que com 50% AM e 50% AO, o teor de S na parte área da candeia (Tabela 3) se encontra dentro da faixa adequada, já no controle, o teor encontra-se abaixo da

faixa adequada (1,4 a 1,6 g kg<sup>-1</sup>) (MALAVOLTA et al., 1997). Essa diferença observada, provavelmente deve-se ao fato de que, a quantidade de S no substrato na melhor combinação de AM e AO pode ser explicada pela própria capacidade do substrato em disponibilizar S, pelo uso do sulfato de amônio como fonte de N, e ainda, pela quantidade de matéria orgânica adicionada nesse tratamento. A manutenção de teores adequados de matéria orgânica no solo é fundamental para o armazenamento de S orgânico havendo suprimento constante deste elemento às plantas e para isso, garantindo o suprimento gradual de S às plantas, através da mineralização (FILHO-OSORIO, 2006).

Em relação ao teor de micronutrientes no controle temos que foram ligeiramente inferiores (Tabela 3) quando comparados aos teores na parte aérea da candeia a melhor combinação de AM e AO, no entanto, todos os micros, exceto manganês, no controle tiveram teores dentro da faixa adequada preconizada por Malavolta, et al. (1997) para essências nativas.

Os teores dos micronutrientes Fe, Mn, Zn, Cu e B presentes na parte aérea da candeia no tratamento o qual obteve o maior crescimento foram de 78,35; 563,69; 20,69; 14,50; 49,85 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 3). Os teores de Mn foram relativamente altos considerando os teores adequados preconizados por Malavolta et al. (1997) de 15 a 60 mg kg<sup>-1</sup>, sendo que altas concentrações de Mn estão de acordo com o comportamento das essências florestais (REISSMANN et al., 1983).

Com relação aos elementos Cu, Fe, Zn e B os valores encontrados para os teores desses micronutrientes na parte aérea da candeia na melhor combinação de AM e AO estão dentro da faixa de variação considerada adequada entre 10 a 70 para o Cu, de 25 a 200 para o Fe, de 5 a 60 para o Zn e de 10 a 70 mg kg<sup>-1</sup> para o B para espécies florestais (MALAVOLTA et al., 1997). O teor adequado desses micronutrientes na parte aérea da candeia também explica o maior crescimento da espécie, uma vez que, apesar de suas baixas concentrações dentro dos tecidos e dos órgãos das plantas, os micronutrientes têm a mesma importância dos macronutrientes para a nutrição. Enquanto, o teor de Cu atua em diversos processos fisiológicos, o Zn atua nos processos metabólicos das plantas, já o B atua na dominância das gemas apicais e crescimento das plantas e o Fe que é constituinte de enzimas (KIRKBY e RÖMHELD, 2007).

A ordem relativa da concentração de macro e micronutrientes na parte aérea da candeia foi: K > N > P > Ca > Mg > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu (Tabela 3). Em estudo da nutrição mineral da candeia em solução nutritiva com adubação com macro e micronutriente

foi encontrada a seguinte ordem de concentração para os macronutrientes: Ca > Mg > N > P > S > K (VENTURIN et al., 2005).

Não existe informação detalhada quanto o acúmulo de nutrientes por candeia em áreas degradadas pela de extração de quartzito. Verificou neste trabalho efeito significativo ( $P < 0,05$ ) para acumulação de todos os macros e micronutrientes na parte aérea de *Eremanthus erythropappus* em função da porcentagem de AM (Tabela 4).

Verifica-se que os valores acumulados de nutrientes pela espécie no controle foram sempre inferiores (Tabela 4) ao de 50% AM e 50% AO, isso se deve, de modo geral, a menor produção de massa seca da parte aérea no controle (Figura 1). Os valores acumulados para os macronutrientes na parte aérea apresentaram a seguinte ordem de acúmulo: K > N > P > Ca > Mg > S (Tabela 4). Dentre os micronutrientes, na parte aérea a ordem decrescente das quantidades acumuladas ocorreu para Mn > Fe > B > Zn > Cu (Tabela 4). O acúmulo de macronutrientes em plantas de mogno foi diferente e na seguinte ordem decrescente no tratamento completo: N > Ca > K > S > Mg > P (WALLAU et al., 2008).

Tabela 4. Equações de regressão ajustadas para o acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea de candeia em função da porcentagem de adubação mineral aplicada em rejeito da mineração de quartzito, acúmulo máximo (AM) de nutrientes e no controle, num período de 120 dias.

Nutriente <sup>(1)</sup>	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>	AM <sup>(2)</sup>	Controle <sup>(3)</sup>
N	$\hat{y}^{-1} = 0,03 - 0,00032**x^{1,5} + 0,000036**x^2$	0,99	136,35	13,76*
P	$\hat{y}^{-1} = 0,30 + 0,00036**x^{1,5} - 0,056**x^{0,5}$	0,93	31,44	3,71*
K	$\hat{y}^{-1} = 0,03 - 0,00095**x + 0,000011**x^2$	0,98	153,84	14,68*
Ca	$\hat{y}^{-1} = 0,16 - 0,00180**x^{1,5} + 0,000203**x^2$	0,99	27,18	3,65*
Mg	$\hat{y}^{-1} = 0,82 - 0,05538**x + 0,005667**x^{1,5}$	0,99	18,77	0,59*
S	$\hat{y}^{-1} = 0,13 - 0,00025**x^2 + 0,000033**x^{2,5}$	0,99	11,57	1,06*
B	$\hat{y}^{-1} = 0,002 + 0,00011**x - 0,000744**x^{0,5}$	0,96	311,80	66,97*
Cu	$\hat{y}^{-1} = 0,02 - 0,00019**x^{1,5} + 0,000021**x^2$	0,95	85,78	15,41*
Fe	$\hat{y}^{-1} = 0,01 - 0,00052**x + 0,000048**x^{1,5}$	0,92	567,64	137,40*
Mn	$\hat{y}^{-1} = 0,001 - 0,000034**x + 0,00000037**x^2$	0,96	4333,55	410,68*
Zn	$\hat{y}^{-1} = 0,04 - 0,00239**x + 0,000231**x^{1,5}$	0,98	195,42	19,01*

\*\* significativo a 1% pelo teste de t. <sup>(1)</sup> Macronutrientes em mg planta<sup>-1</sup> e micronutrientes em µg planta<sup>-1</sup>. <sup>(2)</sup> Acúmulo máximo na aplicação de 50 % AM e 50 % AO. <sup>(3)</sup> \* Diferencia do controle dos demais tratamentos pelo teste F a 5%.

Para fins de utilização da espécie em projetos de restauração temos que o acúmulo de nutrientes pela candeia foi inferior aos encontrados por Cunha et al. (1993) em estudo sobre a dinâmica de nutrientes em floresta estacional decidual, no entanto este mesmo autor obteve maior acúmulo de K seguido de N, conforme encontrado neste trabalho. Em um fragmento

florestal do tipo Floresta Estacional Semidecidual Submontana em Piracicaba (SP), Oliveira, (1997) encontrou uma produção de serapilheira de 14.715,97 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com retorno de macronutrientes na serapilheira na seguinte ordem: Ca > N > K > Mg > P não apresentando a mesma seqüência de acúmulo do presente trabalho.

## CONCLUSÕES

1. O uso da adubação mineral NPK e orgânica no rejeito de quartzito favoreceram o crescimento da *Eremanthus erythropappus*.

2. Houve resposta das mudas de candeia a adubação mineral e orgânica com as doses recomendadas de 0,075 g N, 0,35 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 0,125 g K<sub>2</sub>O e 2,5 g esterco de curral por dm<sup>3</sup> de rejeito da mineração de quartzito.

3. Os teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S em g kg<sup>-1</sup> e, B, Cu, Fe, Mn, e Zn em mg kg<sup>-1</sup> na parte aérea de *Eremanthus erythropappus* foram 16,44; 4,93; 20,20; 3,02; 1,83; 1,35; 49,85; 14,50; 78,35; 563,69; 20,69; respectivamente.

4. O acúmulo de nutrientes pela espécie *Eremanthus erythropappus* nas doses recomendadas foi na seguinte ordem na parte aérea para macro: K > N > P > Ca > Mg > S; e para micro: Mn > Fe > B > Zn > Cu.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de mestrado. A Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri pela infraestrutura necessária á condução do experimento.

## REFERÊNCIAS

ALVAREZ, V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.43-60.

ALVES, W. L.; PASSONI, A.A. Composto e vermicomposto de lixo urbano na produção de mudas de oiti (*Licania tomentosa* Benth.) para arborização. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.10, p.1053-1058, 1997.

BHATTI, J.S.; COMEFORD, N.B.; JOHNSTON, C.T. Influence of oxalate and soil organic matter on sorption and desorption of phosphate onto a Spodic horizon. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 62, n.4, p.1089-1095, 1998.

CANTARUTTI, R.B.; MARTINS, C.E.; CARVALHO, M.M.; FONSECA, D.M.; ARRUDA, M.L.; VILELA, H.E; OLIVEIRA, F.T.T. Pastagens. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. e ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 332-341.

CARVALHO FILHO, J.L.S.; ARRIGONI-BLANK, M.F.; BLANK, A.F. Produção de mudas de angelim (*Andira fraxinifolia* Benth.) em diferentes ambientes, recipientes e substratos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.35, n.1, p.61-67, 2004.

CASSOL, P.C.; GIANELLO, C.; COSTA, V.E.U. Frações de fósforo em estrumes e sua eficiência como adubo fosfatado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.6, p.635-644, 2001.

CFSEMG. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Adubação orgânica. 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.87-92.

CRUZ, C.A.F.; PAIVA, H.N.; GUERRERO, C.R.A. Efeito da adubação nitrogenada na produção de mudas de sete-cascas (*Samanea inopinata* (Harms) Ducke). **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.4, p.537-546, 1995.

CULLEN, W.R.; WHEATER, C.P.; DUNLEAVY, P.J. Establishment of species-rich vegetation on reclaimed limestone quarry faces in Derbyshire, UK. **Biological Conservation**, Boston, v. 84, n.1, p. 25-33, 1998.

CUNHA, G.C.; GRENDENE, L.A.; DURLO, M.A.; BRESSAN, D. A. Dinâmica nutricional em floresta estacional decidual com ênfase aos minerais provenientes da deposição da serapilheira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.3, n.1, p.35-64, 1993.

DANIEL, O.; VITORINO, A.C.T.; ALOVISI, A.A. Aplicação de fósforo em mudas de *Acacia mangium* WILL). **Revista Árvore**, Viçosa, v.21, n.2, p.163-168, 1997.

DIAS, L.E.; ALVAREZ, V.H.; BRIENZA JÚNIOR, S. Formação de mudas de *Acacia mangium* Willd. 2. Resposta a nitrogênio e potássio. **Revista Árvore**, Viçosa, v.15, n.1, p.11-22, 1991.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212p.

FALCÃO, N.P.S.; SILVA, J.R.A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 34, n. 3, p. 337-342. 2004.

FEITOSA. S.S.; DAVIDE, A.C.; TONETTI, O.A.O.; FABRICANTE, J.R.; LUI, J.J. Estudos de viabilidade de sementes de candeia *Eremanthus erythropappus* (DC). Mac Leish, por meio de testes de germinação e raio X. **Floresta**, Curitiba, v.39, n.2, p.393-399, 2008.

FERNANDES, L.A.; FURTINI NETO, A.F.; FONSECA, F.C.; VALE, F.R. Crescimento inicial, níveis críticos de fósforo e frações fosfatadas em espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1191-1198, 2000.

FILHO-OSORIO, B.D. **Dinâmica de enxofre no sistema solo e resposta das culturas à adubação sulfatada**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2006. 76f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2006.

GALVÃO, S.R.S.; SALCEDO, I.H.; OLIVEIRA, F.F. Acumulação de nutrientes em solos arenosos adubados com esterco bovino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.1, p.99-105, jan. 2008.

GESSEL, S.P.; TURNBULL, K.Y.; TREMBLAY, F.J. **How to fertilize trees and measure response**. Washington: National Plant Fodl. Institute, 1960. 67 p.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V.A.G.; GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. p.3-57.

GRANT, C.A.; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.95, p.1-5, 2001.

GRESPLAN, S.L. **Produção e eficiência nutricional de clones de eucalipto no norte do Espírito Santo e suas relações com características do solo**. 1997. 81 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

KANG, B.T. Changes in soil chemical proprieties and crop performance with continuos cropping on an Entisol in the humid tropics. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. (Ed.). **Soil organic matter dynamics sustainability of tropical agriculture**. New York: J. Wiley, 1991. p.297-305.

KANO, C.; CARDOSO, A.; VILLAS BÔAS R.L. Influência de doses de potássio nos teores de macronutrientes em plantas e sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v.28, n.3, p. 287-291, 2010.

KIRKBY, E.A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: Funções absorção e mobilidade. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.118, p. 1-24, 2007.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1992. 352 p.

MACHADO, M.O.; GOMES, A.S.; TURATTI, E.A.P.; SILVEIRA JUNIOR, P. Efeito da adubação orgânica e mineral na produção do arroz irrigado e nas propriedades químicas e físicas do solo de Pelotas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.18, n.6, p.583-591, 1983.

MACHADO, V.J.; SOUZA, C.H.E; ANDRADE, B.B; LANA, R.M.Q; KORNDORFER, G.H. Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.1, p.70-76, 2011.

MAGALHAES, L.M.S.; BRUM, W.E.H. Concentração e distribuição de nutrientes nas folhas de espécies florestais, na Amazônia Ocidental. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.6, n.1, p. 127-137, 1999.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MORRISON, D.F. **Multivariate statical methods**. New York: Mc Graw-Hill Book CO., 1967. 415p.

MUNIZ, A.S.; SILVA, M.A.G. Exigências nutricionais de mudas de peroba rosa (*Aspidosperma polyneurom*) em solução nutritiva. **Revista Árvore**, Viçosa, v.19, n.2, p.263-271, 1995.

NICOLOSO, F.T.; FOGAÇA, M.A.F.; ZANCHETI, F.; FORTUNATO, R.P.; MISSIO, E.L. Exigências nutricionais da grábia em Argissolo Vermelho distrófico arênico: efeito da adubação NPK no teor de nutrientes nos tecidos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.40, n.3, p.417-426, 2009.

OLIVEIRA, R.E. **Aspectos da dinâmica de um fragmento florestal em Piracicaba, SP: silvigênese e ciclagem de nutrientes**. 1997. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1997.

PANDOLFO, C.M.; FLOSS, P.A.; CROCE, D.M.; DITTRICH, R.C. Resposta da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) à adubação mineral e orgânica em um Latossolo Vermelho aluminoférrico. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.13, n.2, p.37-45, 2003.

REISSMANN, C.B.; ROCHA, H. da; KOCHLER, C.W.; CALDAS, R.L.S.; HILDEBRAND, E.E. Bio-elementos em folhas e hastes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill) sobre cambissolos na região de Mandirituba-PR. **Revista Floresta**, Curitiba, v.16, n.2, p. 49-54, 1983.

RHEINHEIMER, D.S. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.3, p.589-597, 2000.

RIZZINI, C. T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira**. São Paulo: Edgard Blucher, 1979. 296p.

SANCHEZ VALLDUVI, G.E.; FLORES, C.C. Fertilizacion nitrogenada en el cultivo de lino oleaginoso (*Linum usitatissimum* L.) efecto sobre el rendimiento y sus componentes. **Investigation Agricola: Production, Protection Vegetal**, Lisboa, v.14, n.3, p.475-482, 1999.

SCOLFORO, J.R.S; OLIVEIRA, A.D.; DAVIDE, A.C. **Manejo sustentado das candeias *Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeish e *Eremanthus incanus* (Less.)**. Lavras, 2002. Disponível em:<[www.nucleoestudo.ufla.br/nemaf/candeia](http://www.nucleoestudo.ufla.br/nemaf/candeia)> Acesso em: 15 out. 2011.

SILVA, A.C. ROSADO, S.C.S. VIEIRA, C.T. CARVALHO, D. Variação genética entre e dentro de populações de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC) MacLeish). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.17, n.3, p.271-277, 2007.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2009. 627p.

SILVA, M.A.G.; MUNIZ, A.S. Exigências nutricionais de mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Velloso) em solução nutritiva. **Revista Árvore**, Viçosa, v.19, n.3, p.415-425, 1995.

SOUZA, C.A.M.; OLIVEIRA, R.B.; FILHO, S.M.; LIMA, J.S.S. Crescimento em campo de espécies florestais em diferentes condições de adubações. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.3, p.243-249, 2006.

VARANINE, Z.; PINTON, R.; BIASE, M.G.; ASTOLFI, S.; MAGGIONI, A. Low molecular weight humic substances stimulate H<sup>+</sup>-ATPase activity of plasma membrane vesicles isolated from oat (*Avena sativa* L.) roots. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 153, n.3, p.61-69, 1993.

VAZ, L.M.S.; GONÇALVES, J.L.M. Uso de biossólidos em povoamento de eucalipto: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.3, p.747-758, 2002.

VENTURIN, N.; SOUZA, P.A.; VENTURIN, R.P. Avaliação nutricional da candiúva (*Trema micrantha* L. Blumes) em casa de vegetação. **Floresta**, Curitiba, v.29, n.1-2, p.15-26, 2000.

VENTURIN, N.; SOUZA, P.A.; MACEDO, R.L.G.; NOGUEIRA, F.D. Adubação mineral da candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeish). **Floresta**, Curitiba, v.35, n.2. p.211-219, 2005.

VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T.C.; SILVA J.R.M.L.; COUTINHO, R.M.V. Formas de fósforo em solos do Estado do Pará: I - Latossolo Amarelo, textura média da parte Noroeste da Região Bragantina. **Boletim da FCAP**, Amazonas, v.21, p. 65-75, 1993.

WALLAU, R.L.R.; BORGES, A.R.; ALMEIDA, D.R.; CAMARGOS, S.L. Sintomas de deficiências nutricionais em mudas de mogno cultivadas em solução nutritiva. **Cerne**, Lavras, v.14, n.4, p. 304-310, 2008.

WILLIAMS, E.D. Changes during three years in the size and composition of seed bank beneath a long-term pasture as influenced by defoliation and fertilizer regime. **Journal of Applied Ecology**, London, v.21, n.2. p.603-615, 1984.

WILLIAMSON, J.C.; ROWE, E.C.; HILL, P.W.; NASON, M.A.; JONES, D.L.; HEALEY, J.R. Alleviation of both water and nutrient limitations is necessary to accelerate ecological restoration of waste rock tips. **Restoration Ecology**, Malden, v.19, n.2, p.194-204, 2011.

## ARTIGO CIENTÍFICO V

### CRESCIMENTO DE *Solanum lycocarpum* St.-Hil EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA EM REJEITO DA MINERAÇÃO DE QUARTZITO

#### RESUMO

Com o objetivo de avaliar o comportamento de *Solanum lycocarpum* sob a influência da adubação mineral e orgânica quando cultivada em rejeito da mineração de quartzito visando subsidiar ações voltadas para a recuperação de áreas de exploração. Conduziu-se um experimento em casa de vegetação em delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de cinco combinações de adubação orgânica (AO) e mineral (AM) e um tratamento adicional do rejeito sem AO e AM (Controle). As combinações foram: 0%AO/100%AM; 25%AO/75%AM; 50%AO/50%AM; 75%AO/25%AM; 100%AO/0% AM. As doses de 100% de AM e AO foram de 150 mg de N, 140 mg de P, 150 mg de K e 5 g de esterco de curral por dm<sup>3</sup> de rejeito. A *Solanum lycocarpum* respondeu a adubação mineral e orgânica com as doses recomendadas de 36,0 mg N, 33,6 mg P e 36,0 mg K e 3,8 g de esterco de curral por dm<sup>3</sup> de rejeito da mineração de quartzito. O acúmulo de nutrientes na espécie *Solanum Lycocarpum* nas doses recomendadas foi na seguinte ordem na parte aérea: N > K > Ca > P > S > Mg > Mn > B > Fe > Cu > Zn com adubação mineral e orgânica para o máximo crescimento da espécie.

**Palavras-chave:** Área degradada, teor adequado, estado nutricional, lobeira.

## ABSTRACT

### **GROWTH OF *Solanum lycocarpum* BY MINERAL AND ORGANIC FERTILIZATION ON THE STERILE REJECT MINING QUARTZITE**

In order to evaluate the behavior of *Solanum Lycocarpum* grown in sterile tailings from mining of quartzite beneath the influence of mineral and organic fertilization to support actions for the recovery of exploration areas of quartzite, it was conducted an experiment in a greenhouse in a completely randomized design with four replications. The treatments consisted of five combinations of mineral (MF) and organic (OF) fertilizer and an additional treatment of the sterile reject without MF and OF (Witness). The combinations were: 0%OF/100%MF; 25%OF/75%MF; 50%OF/50%MF; 75%OF/25%MF; 100%OF/0% MF. Doses of 100% MF and OF were de 150mg de N, 140mg de P, 150mg de K, e 5g bovine manure per dm<sup>3</sup> of sterile. The *Solanum Lycocarpum* responded to mineral fertilization with recommended doses of 36 mg N, 33,6mg P e 36mg K e 3,8g bovine manure per dm<sup>3</sup> of sterile tailings from mining of quartzite. The accumulation of nutrients in the species *Solanum Lycocarpum* at recommended doses was in the following order in shoot: N > K > Ca > P > S > Mg > Mn > B > Fe > Cu > Zn with fertilization mineral and organic for maximum growth of the specie.

**Key words:** Degraded area. Nutritional status. Nutrients accumulation. Lobeira.

## INTRODUÇÃO

A região de Diamantina (MG) e entorno, faz parte da Serra do Espinhaço que é uma cadeia montanhosa que atravessa de norte a sul dos estados da Bahia e de Minas Gerais (HARLEY, 1995; GIULIETTI et al., 1997).

Devido à alta biodiversidade, a importância conservacionista desse ambiente com o declínio da mineração de diamante na região de Diamantina e entorno pela interrupção das descobertas e o gradativo esgotamento das minas em operação está levando a descoberta e a exploração de maciços de quartzito; que provoca degradação do solo e a extinção de espécies endêmicas em razão da forte ação antrópica (MENEZES e GIULIETTI, 2000). A atividade de mineração promove alto grau de impacto, pois as áreas deixadas com rejeito, subsolo ou cascalho exposto permanecem destituídas de vegetação mesmo tendo sido abandonadas por décadas (GIULIETTI et al., 1997; MENEZES e GIULIETTI, 2000), com baixa resiliência (CULLEN et al., 1998). O reduzido restabelecimento natural das espécies deve-se ao fato de haver a remoção da serapilheira, que contém sementes de plantas herbáceas, arbustivas e arbóreas que formam o banco de sementes e de plântulas que são partes integrantes da população vegetal (WILLIAMS, 1984).

Dentre as espécies que podem ser indicadas para compor os plantios nessas áreas degradadas destaca-se a lobeira (ELIAS et al., 2003). A espécie *Solanum lycocarpum* St.-Hil., conhecida popularmente como lobeira ou fruta-de-lobo (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2003) pertence a família Solanaceae, é uma espécie arbórea típica do cerrado brasileiro (RIZZINI, 1963; ROESLER et al., 2007), indicada para recuperação de áreas degradadas devido à sua rápida germinação, alta taxa de emergência de plântulas (VIDAL et al., 1999), crescimento rápido e facilidade da sucessão ecológica nos estágios iniciais (OLIVEIRA, 2006). A modificação do ambiente pela lobeira pode ser avaliada dentre outros fatores, em termos de estrutura do solo, conteúdo de nutrientes e matéria orgânica, pois são variáveis que podem impedir ou facilitar o estabelecimento de espécies (HOLL et al., 2000).

Dessa maneira a lobeira apresenta atributos que justifica seu uso em plantios com fins para a restauração ambiental, no entanto, o pouco conhecimento do comportamento dessa espécie, principalmente em relação as suas exigências nutricionais em áreas degradadas pela mineração de quartzito torna sua utilização comprometida em programas de restauração.

O objetivo do trabalho foi de avaliar o comportamento de *Solanum lycocarpum* sob a influência da adubação mineral e orgânica quando cultivada em rejeito da mineração de quartzito para apoiar ações voltadas para a recuperação dessas áreas de exploração.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de janeiro de 2011 a abril de 2011, em condições de casa de vegetação no Campus JK da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), em Diamantina, MG, Brasil (18°12'S; 43°34'W e altitude de 1.370 m).

Para instalação do experimento utilizou-se o rejeito da mineração de quartzito oriundo das áreas de exploração localizada no município de Diamantina (MG), no qual foi retirada uma amostra para análise química e de textura do substrato. A amostra do substrato foi secada ao ar, e passada em peneira de 2,0 mm de abertura, sendo posteriormente realizadas análises químicas (SILVA, 2009) e de textura do substrato (EMBRAPA, 1997) (Tabela 1). Os resultados da análise química foram ajustados para o todo da constituição granulométrica dos rejeitos de quartzito.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com cinco combinações de adubação orgânica (AO) e mineral (AM) e um tratamento adicional (Controle), com quatro repetições. As combinações de 0%AO/100%AM; 25%AO/75%AM; 50%AO/50%AM; 75%AO/25%AM; 100%AO/0%AM; que corresponderam as doses de 150 mg de N, 140 mg de P, 150 mg de K, por dm<sup>3</sup> de rejeito, sem adição de esterco de curral; 112,5 mg de N, 105 mg de P, 112,5 mg de K e 1,25 g de esterco de curral, por dm<sup>3</sup> de rejeito; 75 mg de N, 70 mg de P, 75 mg de K e 2,5 g de esterco de curral, por dm<sup>3</sup> de rejeito; 37,5mg de N, 35 mg de P, 37,5 mg de K e 3,75 g de esterco de curral, por dm<sup>3</sup> de rejeito; 5 g de esterco por dm<sup>3</sup> de rejeito sem adição de fertilizante mineral. As doses que corresponderam a 150 mg de N por dm<sup>3</sup> de rejeito, e 150 mg de K por dm<sup>3</sup> de rejeito foi recomendado segundo trabalho realizado por Venturin et al. (2005), no qual avaliou os aspectos nutricionais e os efeitos da omissão de nutrientes no desenvolvimento de plântulas de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeish), já a dose que correspondia no trabalho de Venturin et al. (2005) a 200 mg de P por dm<sup>3</sup> de Latossolo Vermelho-Amarelo, sofreu uma redução para 140 mg de P por dm<sup>3</sup> de rejeito, por se tratar de substrato de textura muito arenosa (Tabela 1) (MACHADO et al., 2011). O N, P e K foram aplicados na forma de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. A dose de 5 g de esterco de curral por dm<sup>3</sup> de rejeito foi recomendada segundo a CFSEMG (1999).

A parcela experimental foi composta por vaso de plástico de 5 dm<sup>3</sup> onde foram colocados 3 dm<sup>3</sup> de rejeito de quartzito seco, que se obteve densidade uniforme de 0,93 g cm<sup>-3</sup>. Os vasos tiveram o fundo fechado para evitar perda de nutrientes e de água.

Tabela 1. Análise química e de textura do rejeito da mineração de quartzito.

pH <sub>água</sub>	P	K	Ca	Mg	Al	T	m	V	MO	Cascalho/ Calhaus	Areia	Silte	Argila
	- mg dm <sup>-3</sup> -			----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			---- % ----		----- g kg <sup>-1</sup> -----				
5,0	1,2	5,3	0,5	0,2	0,2	1,7	24	41	7,1	340,4	554,0	99,0	6,6

pH<sub>água</sub> - Relação solo-água 1:2,5. P e K - Extrator Mehlich-1. Ca, Mg e Al - Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. T - Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. m - Saturação de alumínio. V - Saturação por bases. MO - Matéria orgânica determinado através da multiplicação do resultado do carbono orgânico pelo método Walkey-Black por 1,724. Cascalho/calhaus - Tamisação em peneira de 2,0 mm. Areia, silte e argila - Método da pipeta.

Na instalação do experimento foram aplicados 0,119g de calcário dolomítico por dm<sup>3</sup> de rejeito para fornecimento de Ca e Mg pelo método da saturação por bases (ALVAREZ; RIBEIRO, 1999) para elevar para 55 %. Na mesma época foi realizada a adubação fosfatada e a adubação orgânica conforme combinações de AM e AO. O material de rejeito foi incubado por mais 30 dias, sendo a umidade do material mantida durante todo o experimento em 60 % do volume total de poros (VTP), aferida diariamente através de pesagem, completando-se o peso com água deionizada.

Uma semana antes do plantio das mudas foi feita a adubação básica de B (ácido bórico) e Zn (sulfato de zinco) na dose de 0,0005 g de B e 0,001 g de Zn por dm<sup>3</sup> de rejeito (CANTARUTTI et al., 1999).

As sementes de lobeira foram coletadas em árvores selecionadas no campo e colocadas a germinar diretamente nos vasos contendo o rejeito de quartzito, 30 dias após a germinação das sementes foi feito o desbaste deixando-se apenas uma planta por vaso. As adubações potássica e nitrogenada em cobertura iniciaram 15 dias após o desbaste e foram parceladas em quatro vezes sendo as aplicações realizadas em intervalos de 15 dias.

Após um período experimental de 120 dias foram avaliadas as seguintes variáveis: altura das mudas, medida do colo até a gema apical obtida entre a superfície do substrato e a inserção do último par de folhas do ápice, com régua graduada de precisão de 1,0 mm; diâmetro do caule medido na altura do colo obtido com auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. Depois de medidos os diâmetros e as alturas, as mudas foram cortadas rente ao substrato. O sistema radicular foi separado do substrato. Ambas, raízes e parte aérea, após coletado foi separado por tratamentos e repetições, e lavados em água destilada, acondicionados em sacos de papel e secos em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65 °C por 72 horas até atingir peso constante para determinação da massa seca. Após a secagem, o material foi pesado em balança analítica com precisão de 0,0001 g, obtendo o peso de massa seca da parte aérea e das raízes.

Para avaliação do estado nutricional de *Solanum lycocarpum* sob AO e AM quando cultivada em rejeito da mineração de quartzito, após moagem do material, foram determinadas os teores de macro e micronutrientes na massa seca da parte aérea segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). Para o cálculo dos acúmulos de nutrientes da parte aérea da lobeira, multiplicou-se o teor foliar do nutriente na massa seca da parte aérea e, dessa forma, obteve-se o acúmulo do nutriente na parte aérea da espécie.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Para se obter a porcentagem de AM e AO para melhor crescimento das mudas de lobeira utilizou-se de um procedimento multivariado através do processo da variável canônica (MORRISON, 1967). Com a variável canônica de maior autovalor obteve-se os escores a partir do vetor observação de cada unidade experimental das variáveis de crescimento das mudas de lobeira estudadas, reduzindo-o para único valor. Tais escores foram submetidos à análise de variância univariada e as combinações de AM e AO foram submetidas a estudo de regressão polinomial e a média do controle foi comparada com os demais tratamentos pelo teste de F.

O teor foliar adequado e acumulado de nutrientes na parte aérea da lobeira foi estimado substituindo-se a porcentagem de AM e AO para o máximo crescimento da espécie nas equações que relacionam a porcentagem de AM e AO com essas variáveis. Foi utilizado o programa SAS for Windows pelo procedimento PROG GLM e REG para os procedimentos estatísticos.

## RESULTADO E DISCUSSÃO

As características de crescimento das mudas de lobeira apresentaram influência da adubação mineral (AM) e orgânica (AO) aplicada no rejeito da mineração de quartzito (Tabela 2). O tratamento controle (sem AM e AO) é inferior às demais combinação de AM e AO quanto às variáveis de crescimento da espécie (Tabela 2).

Pelos escores de crescimento das mudas de lobeira da variável canônica ( $VC = -2,5418 \cdot \text{Diâmetro} - 0,0883 \cdot \text{Altura} - 10,0191 \cdot \text{MSPA} + 29,0957 \cdot \text{MSR} + 1,2779 \cdot \text{Relação MSR/MSPA}$  com autovalor = 96 %) verificou que o máximo crescimento foi atingido com a porcentagem de 24 % de AM e 76 % de AO (Figura 1), que correspondeu as doses de 36,0 mg N, 33,6 mg P e 36,0 mg K e 3,8 g de esterco de curral por  $\text{dm}^3$  de rejeito da mineração de quartzito.

Tabela 2. Diâmetro do caule, altura de mudas, massa seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR) e relação de MSR e MSPA de mudas de lobeira aos 120 dias em função da porcentagem de adubação mineral (AM) e orgânica (AO) aplicada em rejeito da mineração de quartzito

AM	AO	Diâmetro	Altura	MSPA	MSR	Relação
%	%	(mm)	(m)	(g)	(g)	MSR/MSPA
100	0	1,97	4,25	0,26	0,04	0,19
75	25	2,17	6,63	0,31	0,07	0,20
50	50	2,89	8,75	0,50	0,25	0,49
25	75	5,91	20,83	1,74	0,85	0,50
0	100	5,08	17,38	1,19	0,38	0,30
Controle <sup>(1)</sup>		3,05	9,45	0,34*	0,12*	0,33
Média		3,51	11,21	0,72	0,28	0,34
CV(%)		21,88	23,72	32,90	37,99	24,59

<sup>(1)</sup>\* Diferencia do controle das porcentagens de adubação mineral (AM) e orgânica (AO) pelo teste F a 5%.

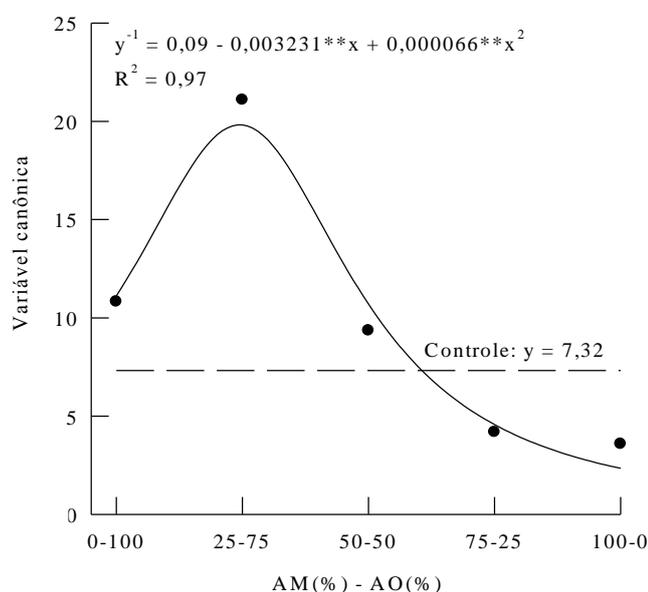


Figura 1. Escore da variável canônica da análise multivariada em função da porcentagem de adubação mineral (AM) e orgânica (AO) aplicada em rejeito da mineração de quartzito no crescimento de mudas de lobeira (\*\* significativo a 1% pelo teste de t).

As combinações não adequadas de AM e AO mostrou-se limitante, afetando em geral o crescimento das mudas de lobeira em altura, diâmetro e produção de massa seca da parte aérea e das raízes (Tabela 2). O maior crescimento da espécie, observado com a combinação de 24% AM e 76% AO em relação aos demais tratamentos e ao controle, se deve ao efeito positivo da matéria orgânica combinada adequadamente a adubação mineral. Este efeito no crescimento pode ser relacionado com as modificações nas propriedades físicas do substrato, que por sua vez, influencia na capacidade de infiltração, retenção de água, drenagem, aeração, temperatura e penetração do sistema radicular (KANG, 1991; VARANINE et al., 1993).

Em termos de alteração na partição de matéria seca, entre raízes e parte aérea (relação R/PA), diante das mudanças de disponibilidade dos nutrientes em função das combinações de adubação, observou-se que a lobeira teve maior relação na combinação de 24 % AM e 76 % AO apresentando relação de 0,50 (Tabela 2), valor este dentro da faixa de relação ideal para produção de mudas a serem levadas ao campo entre 0,45 a 0,50 (DANIEL et al., 1997). A relação R/PA em mudas de *Acacia mangium* foi de 0,45 pela aplicação de 260 mg dm<sup>-3</sup> de P (DANIEL et al., 1997) enquanto que em mudas de jatobá foi de 0,6 no tratamento completo e de 0,51 quando na omissão de cálcio (DUBOC et al., 1996) sendo que as doses de N, P e K aplicadas no tratamento completo consistiram de 150 mg kg<sup>-1</sup>; 120 mg kg<sup>-1</sup>; 75 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Resposta positiva a adubação mineral e orgânica foram encontradas em Erva-mate (*Ilex paraguariensis* st. hil.) cultivada em Latossolo Vermelho com aplicação de 80,5 g de N, 25g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 75 g K<sub>2</sub>O e 4,5 kg de cama de aviário por planta (PANDOLFO et al., 2003). Em espécies nativas conhecidas como aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolia* Raddi), cabreúva-vermelha (*Myroxylon peruiferum* L. f.), pau-de-viola (*Cytarexylum myrianthum* Cham) e unha-de-vaca (*Bauhinia forficata* Link), adubadas com 20 g dm<sup>-3</sup> de logo de esgoto (adubação orgânica) e com 0,42 g de KCL e 2,5 g de calcário (PAIVA, et al., 2009). Em *Stryphnodendron polyphyllum* (barbatimão) com aplicação de N (12 g/cova equivalente a 375 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio) e P (123,7 g/cova, equivalente a 3.865 kg ha<sup>-1</sup> de surperfosfato simples), associada aos resíduos orgânicos (954 g/cova, equivalente a 30 t ha<sup>-1</sup> de material seco) (CALGARO et al., 2008). E em três espécies florestais (*Cedrela odorata*, *Schinus terebinthifolius* e *Acacia holosericea*) com aplicação de adubo orgânico nas doses recomendadas de 1 litro/cova de esterco de galinha e de esterco bovino e com aplicação de 56 g/cova de NPK-20-05-20 (SOUZA et al., 2006).

A identificação dos teores de nutrientes das plantas, considerando o ambiente natural circundante é relevante por vários motivos; é parâmetro de referência para o manejo de plantas da mesma espécie com deficiências nutricionais, serve como subsídio para recuperação de áreas degradadas, além da importância na adoção em programas de reflorestamento com espécies florestais nativas. Apesar de ser uma espécie de grande utilização em projetos de recuperação de áreas degradadas, informações sobre as exigências nutricionais de *Solanum lycocarpum* são escassas na literatura.

Os teores de nutrientes foram influenciados pela AM e AO que diferiram do controle, exceto o teor de K e B na parte aérea da espécie (Tabela 3). A avaliação do estado nutricional de *Solanum lycocarpum* permitiu obter os teores adequados de macro e micronutrientes

(Tabela 3) para a espécie em área degradada pela extração de quartzito em função da AM e AO que proporcionou o máximo crescimento.

O teor foliar adequado de N na lobeira cultivada em rejeito de quartzito com 24 % de AM e 76% AO no qual proporcionou o maior crescimento das plantas de lobeira aos 120 dias (Tabela 3) está dentro da faixa adequada para essências florestais preconizada por Malavolta et al. (1997) que varia de 12 a 35 g kg<sup>-1</sup> confirmando a importância recíproca da AM e AO quanto à disponibilidade de N para atender a demanda nutricional da espécie.

No estágio juvenil a demanda de N é muito elevada (GONÇALVES et al., 2000) e a maior absorção e assimilação de N é aceita como uma das principais causas da resposta em crescimento (VAZ et al., 2002). Ao comparar o teor de N entre o controle e o 24 % AM e 76 % AO, tem que, o teor no controle (Tabela 3) foi inferior, no entanto, está dentro da faixa adequada (MALAVOLTA et al., 1997), esta resposta deve-se possivelmente ao efeito da concentração (MARQUES et al., 2004) devido ao menor crescimento da planta no controle (Tabela 2).

Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Wallau et al. (2008) em experimento para determinar as concentrações de nutrientes na parte aérea de plantas de cedro cultivadas em solução nutritiva completa, e por Duboc et al. (2008) quando avaliaram a concentração foliar de N na espécie conhecida como angico sob adubação mineral N e P em condições não degradadas.

A concentração do P na parte aérea de lobeira na combinação de 26% AM e 74% AO (Tabela 3) encontra-se acima da faixa adequada de 1,0 a 2,3 g kg<sup>-1</sup> (MALAVOLTA et al., 1997) para essências florestais. Esse comportamento pode ser explicado pela textura arenosa do substrato e pela presença de matéria orgânica via aplicação de esterco bovino. Essa disponibilidade pode ser influenciada pela textura do solo, sendo que a adsorção de P em solos arenosos é menor que em solos com maior teor de argila (FALCÃO e SILVA, 2004) e que a adsorção de fosfato é menor na presença de matéria orgânica (BHATTI et al., 1998), além da matéria orgânica ser fonte de P para as plantas (VIEIRA et al., 1993; RHEINHEIMER et al., 2000; CASSOL et al., 2001).

Já no controle como era esperado, o teor de P na parte aérea está deficiente (abaixo da faixa adequada), uma vez que a disponibilidade de P no solo é um fator que interfere diretamente na sua absorção pelas plantas (MACHADO et al., 2011). Isso demonstra que a quantidade aplicada de P no melhor tratamento para obter o máximo crescimento foi suficiente para atender a demanda nutricional e que a adubação fosfatada é responsiva no crescimento inicial e na produção de lobeira.

Tabela 3. Equações de regressão ajustadas para os teores de macro e micronutrientes na parte aérea de lobeira em função da porcentagem de adubação mineral aplicada em rejeito da mineração de quartzito, teor de nutrientes correspondente a 24% de adubação mineral (AM) e no controle, num período de 120 dias.

Nutriente <sup>(1)</sup>	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>	AM <sup>(2)</sup>	Controle <sup>(3)</sup>
N	$\hat{y} = 12,24 + 0,4915**x - 0,0043**x^2$	0,99	21,75	18,52*
P	$\hat{y} = 2,48 + 0,1118**x - 0,0009**x^2$	0,88	4,64	0,38*
K	$\hat{y} = \bar{y} = 16,91$	-	16,91 <sup>(4)</sup>	10,11*
Ca	$\hat{y} = 3,96 + 0,1175**x$	0,89	6,78	13,79*
Mg	$\hat{y} = 0,37 + 0,0174**x$	0,95	0,79	0,80*
S	$\hat{y} = 3,57 - 0,0304**x$	0,95	2,84	0,70*
B	$\hat{y} = \bar{y} = 68,01$	-	68,01 <sup>(4)</sup>	69,63
Cu	$\hat{y} = 13,69 + 0,2086**x$	0,98	18,69	29,12*
Fe	$\hat{y} = 2,69 + 8,4955**x - 0,0529**x^2$	0,85	176,10	136,81*
Mn	$\hat{y} = 385,16 - 6,0282**x + 0,0384**x^2$	0,86	262,67	176,45*
Zn	$\hat{y} = 11,41 + 0,2976**x - 0,0039**x^2$	0,80	16,31	5,06*

\*\*significativo a 1% pelo teste de t. <sup>(1)</sup> Macronutrientes em g kg<sup>-1</sup> e micronutrientes em mg kg<sup>-1</sup>. <sup>(2)</sup> Teor nutriente na aplicação de 24% AM e 76 % AO. <sup>(3)</sup> \* Diferencia do controle dos demais tratamentos pelo teste F a 5%. <sup>(4)</sup> Teor médio das combinações de AM e AO.

O P é um nutriente considerado determinante no crescimento das plantas, uma vez que tem considerável importância no metabolismo do carbono, bem como na formação de açúcares fosfatados (GRANT et al., 2001). Ao se comparar o teor de P obtidos no melhor tratamento (24% AM e 76% AO) com trabalhos de outros autores observa-se que o teor de P na melhor combinação de AM e AO está próximo aos encontrados por Marques et al. (2004) para *Schizolobium amazonicum* no qual obteve teor de 4,3 g kg<sup>-1</sup> e por Sorreano et al. (2011) avaliando exigência nutricional na espécie sangra d'água (*Croton urucurana*) a qual obteve teor de P de 5,5 g kg<sup>-1</sup>.

Verifica-se que o teor de P (0,38 g kg<sup>-1</sup>) no tratamento controle foi semelhante ao observado por Duboc et al., (1996) estudando a nutrição do jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang.) no qual obteve 0,4 g kg<sup>-1</sup>, indicando uma elevada capacidade de extração pelas mudas de lobeira, mesmo em condições de pequena disponibilidade no substrato.

Com 24% AM e 76% AO, verifica-se que o teor foliar de K (Tabela 3) para a espécie está acima da faixa adequada de 10 a 15 g kg<sup>-1</sup> (MALAVOLTA et al., 1997) para essências florestais. Verifica-se na parte aérea do tratamento controle que o teor de K foi menor quando comparado ao tratamento com maior crescimento (Tabela 3), no entanto, o teor no controle também se encontra dentro da faixa adequada, possivelmente devido ao efeito da concentração.

Resultados semelhantes ao tratamento com maior crescimento foram observados em Marques et al. (2004) em plantas de paricá com aplicação de solução nutritiva completa. Enquanto que, Duboc et al. (1996), obteve teores de K inferiores com plantas de jatobá com aplicação total de de  $75 \text{ mg dm}^{-3}$  de solo. Sorreano et al. (2011) obteve teores de K superiores ao obtido neste trabalho quando avaliaram mudas de *Croton urucurana* na adubação completa em solução nutritiva.

Na massa seca da parte aérea de lobeira cultivada em rejeito de quartzito com 24 % de AM e 76 % AO, o teor foliar de Ca está dentro da faixa adequada enquanto que o teor de Mg (Tabela 3) se encontra abaixo da faixa adequada, preconizada por Malavolta et al., (1997) para essências florestais de 3 a  $12 \text{ g kg}^{-1}$  de Ca e de 1,5 a  $5,0 \text{ g kg}^{-1}$  de Mg. A adubação potássica promoveu altas concentrações de K na solução do rejeito que reduziu a absorção de Mg por inibição competitiva pelos mesmos sítios de absorção (MARSCHNER, 1995).

O teor foliar de Ca encontrado com aplicação de 24 % de AM e 76 % AO está abaixo ao encontrados por Viégas et al. (2002) para *Annona muricata* ( $14,1 \text{ g kg}^{-1}$ ) e por Sorreano et al. (2011) para *Croton urucurana* ( $15,8 \text{ g kg}^{-1}$ ). Desta forma, fazem-se necessários estudos de recomendação de Ca e Mg para ambientes degradados pela mineração de quartzito.

Quanto ao macronutriente S, o teor do controle diferiu das combinações de AM e AO (Tabela 3). Enquanto que com 24 % AM e 76 % AO, o teor de S na parte área da lobeira (Tabela 3) se encontra dentro da faixa adequada, já no controle, o teor encontra-se abaixo da faixa adequada de 1,4 a  $1,6 \text{ g kg}^{-1}$  (MALAVOLTA et al., 1997) para espécies florestais. O maior teor de S na melhor combinação de AM e AO pode ser explicada pela própria capacidade do substrato em disponibilizar S, pelo uso do sulfato de amônio como fonte de N, que correspondeu a aplicação  $0,18 \text{ g dm}^{-3}$  do rejeito; e ainda, pela quantidade de matéria orgânica adicionada nesse tratamento. O teor de S com 24 % AM e 76 % AO foi superior aos obtidos por Duboc et al. (1996) de  $0,65 \text{ g kg}^{-1}$  de S com aplicação de  $30 \text{ mg dm}^{-3}$  de S no solo, avaliando o teor de nutrientes na matéria seca da parte aérea (MSPA) de plantas de jatobá na adubação completa. Próximos aos obtidos por Marques et al. (2004) para *Schizolobium amazonicum* com teores entre  $2,7 \text{ g kg}^{-1}$  e  $2,2 \text{ g kg}^{-1}$  em solução nutritiva completa e por Viégas et al. (2002) para *Annona muricata* com teores de  $2,3 \text{ g kg}^{-1}$  com aplicação desse nutriente em solução nutritiva completa.

Verifica-se que todos os micros, exceto Mn, no controle tiveram teores dentro da faixa adequada preconizada por Malavolta et al. (1997) para essências nativas (Tabela 3). Os teores foliares de Mn foram relativamente altos considerando os teores adequados preconizados por

Malavolta et al. (1997) de 15 a 60 mg kg<sup>-1</sup>, no entanto altas concentrações de Mn estão de acordo com o comportamento das essências florestais (REISSMANN et al., 1983).

Com relação aos elementos B, Cu, Fe e Zn os valores encontrados para os teores desses micronutrientes na parte aérea da lobeira na melhor combinação de AM e AO (Tabela 3) estão dentro da faixa de variação considerada adequada entre 10 a 70 para o B, 10 a 70 para o Cu, de 25 a 200 para o Fe, de 5 a 60 mg kg<sup>-1</sup> para o Zn para espécies florestais (MALAVOLTA et al., 1997). O teor adequado desses micronutrientes na parte aérea da espécie em estudo também explica o seu maior crescimento nesse tratamento, uma vez que, apesar de suas baixas concentrações dentro dos tecidos e dos órgãos das plantas, os micronutrientes têm a mesma importância dos macronutrientes para a nutrição (KIRKBY e RÖMHELD, 2007). Enquanto, o Cu atua em diversos processos fisiológicos, o Zn atua nos processos metabólicos das plantas, já o B atua na dominância das gemas apicais e crescimento das plantas e o Fe que atua na constituição das enzimas (KIRKBY e RÖMHELD, 2007).

Verifica-se que os valores acumulados de nutrientes pela espécie no controle foram sempre inferiores quando comparados ao tratamento com maior crescimento (24 % AM e 76 % AO) (Tabela 4), isso se deve, de modo geral, a menor produção de massa seca da parte aérea no controle (Figura 1). Os valores acumulados para os macronutrientes na parte aérea apresentaram a seguinte ordem de acúmulo: N > K > Ca > P > S > Mg (Tabela 4).

Tabela 4. Equações de regressão ajustadas para o acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea de lobeira em função da porcentagem de adubação mineral aplicada em rejeito da mineração de quartzito, acúmulo máximo (AM) de nutrientes e no controle, num período de 120 dias.

Nutriente <sup>(1)</sup>	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>	AM <sup>(2)</sup>	Controle <sup>(3)</sup>
N	$\hat{y}^{-1} = 0,06 - 0,002865**x + 0,000054**x^2$	0,96	44,75	6,25*
P	$\hat{y}^{-1} = 0,29 - 0,012891**x + 0,000234**x^2$	0,93	8,67	0,13*
K	$\hat{y}^{-1} = 0,07 + 0,005647**x - 0,035932**x^{0,5}$	0,99	33,90	3,41*
Ca	$\hat{y}^{-1} = 0,19 + 0,005065**x - 0,040735**x^{0,5}$	0,99	9,93	4,65*
Mg	$\hat{y}^{-1} = 1,78 + 0,037762**x - 0,344338**x^{0,5}$	0,90	1,00	0,27*
S	$\hat{y}^{-1} = 0,23 - 0,019383**x + 0,000723**x^2$	0,99	5,52	0,24*
B	$\hat{y}^{-1} = 0,01 - 0,000469**x + 0,000014**x^2$	0,98	146,89	23,50*
Cu	$\hat{y}^{-1} = 0,06 + 0,002584**x - 0,017679**x^{0,5}$	0,94	28,24	9,83
Fe	$\hat{y} = 61,47 + 4,061372**x - 0,040180**x^2$	0,90	135,80	46,17*
Mn	$\hat{y} = 446,09 - 4,789705**x$	0,88	331,14	59,55*
Zn	$\hat{y}^{-1} = 0,09 - 0,005731**x + 0,000124**x^2$	0,99	3,34	1,71*

\*\* significativo a 1% pelo teste de t. <sup>(1)</sup> Macronutrientes em mg planta<sup>-1</sup> e micronutrientes em µg planta<sup>-1</sup>. <sup>(2)</sup> Acúmulo máximo na aplicação de 24 % AM e 76 % AO. <sup>(3)</sup> \* Diferencia do controle dos demais tratamentos pelo teste F a 5%.

Dentre os micronutrientes, na parte aérea a ordem decrescente das quantidades acumuladas ocorreu para  $Mn > B > Fe > Cu > Zn$  (Tabela 4). A ordem no acúmulo de macronutrientes na parte aérea da lobeira na melhor combinação de AM e AO foram similares àquela observada por Duboc et al. (1996) em folhas de mudas de jatobá submetidas na adubação completa na seguinte ordem:  $N > Ca > K > Mg > S > P > Fe > Mn > Zn > Cu$ .

Não existe informação detalhada quanto o acúmulo de nutrientes por lobeira em áreas degradadas pela de extração de quartzito. As quantidades de nutrientes alocados na biomassa vegetal devem ser consideradas, uma vez que, o conhecimento acerca do acúmulo de nutrientes pela espécie em ambiente degradado, é importante não só para o entendimento da dinâmica dos nutrientes, mas principalmente para o estabelecimento de práticas para a recuperação de sítios degradados (SOUZA e DAVIDE, 2001).

## CONCLUSÕES

1. A espécie nativa *Solanum lycocarpum* respondeu a aplicação da adubação orgânica e mineral com as doses recomendadas de 0,036 g N, 0,168 g  $P_2O_5$  e 0,060 g  $K_2O$  e 2,5 g de esterco de curral por  $dm^3$  de rejeito da mineração de quartzito.

2. Os teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S em  $g\ kg^{-1}$  e, B, Cu, Fe, Mn, e Zn em  $mg\ kg^{-1}$  na parte aérea de *Solanum lycocarpum* foram 21,75; 4,64; 16,91; 6,78; 0,79; 2,84; 68,01; 18,69; 176,10; 262,67; 16,31; respectivamente.

3. O acúmulo de nutrientes pela espécie *Solanum lycocarpum* nas doses recomendadas foi na seguinte ordem na parte aérea:  $N > K > Ca > P > S > Mg > Mn > B > Fe > Cu > Zn$

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de mestrado. A Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri pela infra-estrutura necessária á condução do experimento.

## REFERÊNCIAS

ALVAREZ, V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.43-60.

BHATTI, J.S.; COMEFORD, N.B.; JOHNSTON, C.T. Influence of oxalate and soil organic matter on sorption and desorption of phosphate onto a Spodic horizon. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.62, n.4, p.1089-1095, 1998.

CALGARO, H.F.; FILHO-VALERIO, W.V.; AQUINO, S.S.; MALTONI, K.L.; CASSIOLATO, A.M.R. Adubação química e orgânica na recuperação da fertilidade de subsolo degradado e na micorrização do *Stryphnodendron polyphyllum*. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p.1337-1347, 2008.

CANTARUTTI, R.B.; MARTINS, C.E.; CARVALHO, M.M.; FONSECA, D.M.; ARRUDA, M.L.; VILELA, H.E.; OLIVEIRA, F.T.T. Pastagens. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, CFSEMG, 1999. p. 332-341.

CASSOL, P.C.; GIANELLO, C.; COSTA, V.E.U. Frações de fósforo em estrumes e sua eficiência como adubo fosfatado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.635-644, 2001.

CFSEMG. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Adubação orgânica. 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.87-92.

CULLEN, W.R.; WHEATER, C.P.; DUNLEAVY, P.J. Establishment of species-rich vegetation on reclaimed limestone quarry faces in Derbyshire, UK. **Biological Conservation**, Boston, v.84, n.1, p.25-33, 1998.

DANIEL, O.; VITORINO, A.C.T.; ALOVISI, A.A.; Aplicação de fósforo em mudas de *Acacia mangium* WILL). **Revista Árvore**, Viçosa, v.21, n.2, p.163-168, 1997.

DUBOC, E.; GUERRINI, I.A. Concentração foliar de espécies arbóreas nativas do Cerrado sob adubação com nitrogênio e fósforo. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 2, 2008, Brasília, DF. **Anais...** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. (CD-ROOM)

DUBOC, E.; VENTORIN, N.; VALE, F.R.; DAVIDE, A.C. Nutrição do jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang.). **Cerne**, Lavras, v.2, n.1, p.1-12, 1996.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212p.

FALCAO, N.P.S.; SILVA, J.R.A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. **Acta Amazônica**, Manaus, v.34, n.3, p.337-342, 2004.

GIULIETTI, A.M., PIRANI, J.R.; HARLEY, R.M. Espinhaço range region. Eastern Brazil. In: DAVIS, S.D.; HEYWOOD, V.H.; HERRERA- MACBRYDE, O.; VILLA-LOBOS, J.; HAMILTON, A.C (Ed). **Centres of plant diversity**. A guide and strategies for the conservation. v.3. Oxford: Information Press, 1997. p.397-404.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V.A.G.; GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. p.3-57

GRANT, C.A.; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.95, p.1-5, 2001.

HARLEY, R.M. Introduction. In: STANNARD, B.L (ed.). **Flora of the Pico das Almas, Chapada Diamantina, Bahia**. Kew: Royal Botanic Gardens, 1995. p.1-40.

HOLL, K. D. Tropical montane forest restoration in Costa Rica: Overcoming barriers to dispersal and establishment. **Restoration Ecology**, Malden, v.8, n.2, p.339-349. 2000.

KANG, B.T. Changes in soil chemical proprieties and crop performance with continuous cropping on an Entisol in the humid tropics. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. (Ed.). **Soil organic matter dynamics sustainability of tropical agriculture**. New York: J. Wiley, 1991. p. 297-305.

KIRKBY, E.A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: Funções absorção e mobilidade. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.118, p.1-24, 2007.

MACHADO, V.J.; SOUZA, C.H.E.; ANDRADE, B.B.; LANA, R.M.Q.; KORNDORFER, G.H. Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.1, p.70-76, 2011.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARQUES, T.C.L.L.M.; CARVALHO, J.G.; LACERDA, M.P.C.; MOTA, P.E.F. Exigências nutricionais do paricá (*Schizolobium amazonicum*, Herb.) na fase de muda. **Cerne**, Lavras, v.10, n.2, p.167-183, 2004.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MENEZES, N.L., GIULIETTI, A.M. Campos rupestres. In: MENDONÇA, M.P.; LINS, L.V. **Lista vermelha das espécies ameaçadas de extinção da flora de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas/Fundação Zoobotânica de Belo Horizonte, 2000. p.65-73.

MORRISON, D.F. **Multivariate statical methods**. New York: Mc Graw-Hill Book CO., 1967. 415p.

OLIVEIRA, F.F. **Plantio de espécies nativas e uso de poleiros artificiais na restauração de uma área perturbada de cerrado sentido restrito em ambiente urbano no Distrito Federal, Brasil**. 2006. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília. 2006.

OLIVEIRA-JUNIOR, E.N.; SANTOS, C.D.; ABREU, C.M.P.; CORREA, A.D.; SANTOS, J.Z.L. Análise nutricional da fruta-de-lobo (*Solanum lycocarpum* St. Hil.) durante o amadurecimento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.27, n.4, p.846-851, 2003.

PAIVA, A.V.; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J.L.M.; FERRAZ, A.V. Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas, adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto seco e com fertilização mineral. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.37, n.84, p.499-511, 2009.

PANDOLFO, C.M.; FLOSS, P.A.; CROCE, D.M.; DITTRICH, R.C. Resposta da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) à adubação mineral e orgânica em um latossolo vermelho aluminoférrico. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.13, n.2, p.37-45, 2003.

REISSMANN, C.B.; ROCHA, H.; KOCHLER, C.W.; CALDAS, R.L.S.; HILDEBRAND, E.E. Bio-elementos em folhas e hastes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill) sobre cambissolos na região de Mandirituba-Pr. **Revista Floresta**, Curitiba, v.16, n.2, p.49-54, 1983.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.3, p.589-597, 2000.

RIZZINI, C.T. A flora do cerrado - análise florística das savanas centrais. In: FERRI, M.G. (Ed.) **Simpósio sobre o cerrado**. São Paulo: USP/Edgaard Blücher, 1963. p.125-177.

ROESLER, R.; MALTA, L.G.; CARRASCO, L.C.; HOLANDA, R.B.; SOUSA, C.A.S.; PASTORE, G.M. Atividade antioxidante de frutas do cerrado. **Ciência Tecnologia Alimentos**, Campinas, v.27, n.1, p.53-60, 2007.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2009. 627p.

SORREANO, M.C.M.; MALAVOLTA, E.; SILVA, D.H.; CABRAL, C.P. Deficiência de macronutrientes em mudas de Sangra d'água (*Croton urucurana*, Baill.). **Cerne**, Lavras, v.17, n.3, p.347-352, p.347-352, 2011.

SOUZA, C.A.M.; OLIVEIRA, R.B.; FILHO, S.M.; LIMA, J.S.S. Crescimento em campo de espécies florestais em diferentes condições de adubações. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.3, p.243-249, 2006.

SOUZA, J.A.; DAVIDE, A.C. Deposição de serapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. **Revista Cerne**, Lavras, v.7, n.1, p.101-113, 2001.

VARANINE, Z.; PINTON, R.; BIASE, M.G.; ASTOLFI, S.; MAGGIONI, A. Low molecular weight humic substances stimulate H<sup>+</sup>-ATPase activity of plasma membrane vesicles isolated from oat (*Avena sativa* L.) roots. **Plant and Soil**, Netherlands, v.153, n.3, p.61-69, 1993.

VAZ, L.M.S.; GONÇALVES, J.L.M. Uso de biossólidos em povoamento de eucalipto: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.3-20, p.747-758. 2002.

VENTURIN, N.; SOUZA, P.A.; MACEDO, R.L.G.; NOGUEIRA, F.D. Adubação mineral da candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeish). **Floresta**, Curitiba, v.35, n.2. p.211-219, 2005.

VIDAL, M.C.; ESTACCIARINI-SERAPHIN, H.L.L. Crescimento de plântulas de *Solanun lycocarpum* St Hill. (lobeira) em casa de vegetação. **Acta Botânica Brasília**, Feira de Santana, v.13, n.3, p.271-275. 1999.

VIÉGAS, I.J.M.; BATISTA, M.M.F.; FRAZÃO, D.A.C.; CARVALHO, J.G.; SILVA, J.F. Avaliação dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S em plantas de gravioleira cultivadas em solução nutritiva com omissão de macronutrientes. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n.38, p. 17-28, 2002.

VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T.C.; SILVA JÚNIOR, M.L.; COUTINHO, R.M.V. Formas de fósforo em solos do Estado do Pará - I - Latossolo Amarelo, textura média da parte Noroeste da Região Bragantina. **Boletim da FCAP**, Pará, v.21, p. 65-75, 1993.

WALLAU, R.L.R.; BORGES, A.R.; ALMEIDA, D.R.; CAMARGOS, S.L. Sintomas de deficiências nutricionais em mudas de mogno cultivadas em solução nutritiva. **Cerne**, Lavras, v.14, n.4, p. 304-310, 2008.

WILLIAMS, E.D. Changes during three years in the size and composition of seed bank beneath a long-term pasture as influenced by defoliation and fertilizer regime. **Journal of Applied Ecology**, London, v.21, n.2, p.603-615, 1984.

## ARTIGO CIENTÍFICO VI

### CRESCIMENTO DE *Dalbergia miscolobium* Benth EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA EM REJEITO DA MINERAÇÃO DE QUARTZITO.

#### RESUMO

Com o objetivo de avaliar o comportamento de *Dalbergia miscolobium* sob a influência da adubação mineral e orgânica quando cultivada em rejeito da mineração de quartzito visando subsidiar ações voltadas para a recuperação de áreas de exploração, conduziu-se um experimento em casa de vegetação em delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de cinco combinações de adubação orgânica (AO) e mineral (AM) e um tratamento adicional do rejeito sem AO e AM (Controle). As combinações foram: 0%AO/100%AM; 25%AO/75%AM; 50%AO/50%AM; 75%AO/25%AM; 100%AO/0% AM. As doses de 100% de AM e AO foram de 25 mg N, 25 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20 mg K<sub>2</sub>O e 5 g de esterco de curral por dm<sup>3</sup> de rejeito. A *Dalbergia miscolobium* respondeu a adubação mineral com as doses recomendadas de 25 mg N, 25 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20 mg K<sub>2</sub>O por dm<sup>3</sup> de rejeito da mineração de quartzito, sem adição de esterco de curral. O acúmulo de nutrientes na espécie *Dalbergia miscolobium* nas doses recomendadas foi na seguinte ordem na parte aérea: N > K > Ca > S > P > Mg > Mn > Fe > Cu > B > Zn.

**Palavras-chave:** Área degradada, teor adequado, estado nutricional, jacarandá.

## ABSTRACT

### **GROWTH OF *Dalbergia miscolobium* Benth BY MINERAL AND ORGANIC FERTILIZATION ON THE STERILE REJECT MINING QUARTZITE**

In order to evaluate the behavior of *Dalbergia miscolobium* grown in sterile tailings from mining of quartzite beneath the influence of mineral and organic fertilization to support actions for the recovery of exploration areas of quartzite, it was conducted an experiment at greenhouse in a completely randomized design with four replications. The treatments consisted of five combinations of mineral (MF) and organic (OF) fertilizer and an additional treatment of the sterile reject without MF and OF (Witness). The combinations were: 0%OF/100%MF; 25%OF/75%MF; 50%OF/50%MF; 75%OF/25%MF; 100%OF/0% MF. Doses of 100% MF and OF were de 25mg N, 25mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20mg K<sub>2</sub>O e 5g bovine manure per dm<sup>3</sup> of sterile. The *Dalbergia miscolobium* responded to mineral fertilization with recommended doses of 25 mg N, 25 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20 mg K<sub>2</sub>O per dm<sup>3</sup> of sterile tailings from mining of quartzite. The accumulation of nutrients in the species *Dalbergia miscolobium* at recommended doses was in the following order in shoot: N > K > Ca > S > P > Mg > Mn > Fe > Cu > B > Zn. It is concluded that the barren waste of quartzite form a favorable habitat for growth of the specie in the study conditions.

**Key words:** Degraded area. Nutritional status. Nutrients accumulation. Jacarandá.

## INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade muito importante para a economia e para o desenvolvimento, tendo sido um dos principais meios para a efetiva ocupação de parte do território brasileiro (AZEVEDO e DELGADO, 2002). No entanto, a extração mineral é uma das principais atividades antrópicas que causam a degradação dos ecossistemas em maior intensidade. Pelo fato das atividades minerárias causarem a degradação de menores extensões de áreas quando comparado as atividade agropecuárias, o impacto ambiental local é muito maior porque o ecossistema sofre alterações drásticas. A perda da biodiversidade, a erosão do solo e a geração do rejeito estão entre os principais impactos causados pela atividade de mineração (CHAER et al., 2011).

A atividade de mineração contribui para a redução dos processos de regeneração natural (CULLEN et al., 1998) desfavorece o restabelecimento natural das espécies pelo fato de haver a remoção da serapilheira, que contém sementes de plantas herbáceas, arbustivas e arbóreas que formam o banco de sementes e de plântulas que são partes integrantes da população vegetal (WILLIAMS, 1984).

O declínio da mineração de diamante na região de Diamantina (MG) e entorno, com a interrupção das descobertas e o gradativo esgotamento das minas em operação está levando a descoberta e a exploração de maciços de quartzito que proporciona a degradação da vegetação existente, da composição e da estrutura do solo, com formação de um ambiente bastante inóspito para o crescimento de plantas (WILLIAMSON et al., 2011). Em função do acelerado processo de degradação decorre a necessidade de dispor de informações básicas sobre o comportamento das espécies nativas nesses ambientes, que subsidiem a proposição de estratégias que visem à restauração de áreas degradadas.

As espécies nativas podem ser de grande importância no processo de restauração uma vez que estas são de ocorrência natural e pelo fato das espécies nativas serem naturalmente adaptadas às regiões onde ocorrem sendo muito importante para o equilíbrio ambiental, pois existem complexas relações dos demais seres vivos com tais espécies.

Dentre as espécies que podem ser indicadas para compor os plantios em áreas degradadas no Brasil destaca-se o Jacarandá do cerrado (NUNES et al., 2002). A espécie arbórea *Dalbergia miscolobium* Benth, popularmente conhecida como jacarandá do cerrado, pertence à família Fabaceae, é uma espécie indicada para a recuperação de áreas degradadas, pois possui alto índice de regeneração natural com alta capacidade de recolonização em áreas degradadas (NUNES et al., 2002), o que justifica seu uso em plantios com fins para a

restauração ambiental. No entanto, o pouco conhecimento do comportamento dessa espécie, principalmente em relação as suas exigências nutricionais em áreas degradadas pela mineração de quartzito torna sua utilização comprometida em programas de restauração.

O objetivo do trabalho foi avaliar o comportamento de *Dalbergia miscolobium* sob a influência da adubação mineral e orgânica cultivada em rejeitos da mineração de quartzito para apoiar ações voltadas para a recuperação de áreas de exploração de quartzito.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de novembro de 2010 a abril de 2011, em condições de casa de vegetação no Campus JK da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), em Diamantina, MG, Brasil (18°12'S; 43°34'W e altitude de 1.370 m).

Para instalação do experimento utilizou-se o rejeito da mineração de quartzito oriundo das áreas de exploração localizada no município de Diamantina (MG), no qual foi retirada uma amostra para análise química e de textura do substrato. A amostra do substrato foi secada ao ar, e passada em peneira de 2,0 mm de abertura, sendo posteriormente realizadas análises químicas (SILVA, 2009) e de textura do substrato (EMBRAPA, 1997) (Tabela 1). Os resultados da análise química foram ajustados para o todo da constituição granulométrica dos rejeitos de quartzito.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com cinco combinações de adubação orgânica (AO) e mineral (AM) e um tratamento adicional (Controle), com quatro repetições. As combinações de 0%AO/100%AM; 25%AO/75%AM; 50%AO/50%AM; 75%AO/25%AM; 100%AO/0%AM; que corresponderam respectivamente as doses de 25 mg N, 25 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20 mg K<sub>2</sub>O, por dm<sup>3</sup> de rejeito, sem adição de esterco de curral; 18,75 mg N, 18,75 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 15 mg K<sub>2</sub>O e 1,25 g esterco de curral, por dm<sup>3</sup> de rejeito; 12,5 mg N, 12,5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 10 mg K<sub>2</sub>O e 2,5 g esterco de curral, por dm<sup>3</sup> de rejeito; 6,25 mg N, 6,25 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 5 mg K<sub>2</sub>O e 3,75 g esterco de curral, por dm<sup>3</sup> de rejeito; 5 g de esterco sem adição de fertilizantes mineral, respectivamente. A dose de 5 g de esterco de curral por dm<sup>3</sup> de rejeito foi recomendada segundo a CFSEMG (1999). A parcela experimental foi composta por vasos de plásticos de 5 dm<sup>3</sup> onde foram colocados 3 dm<sup>3</sup> de rejeito de quartzito seco, que se obteve densidade uniforme de 0,93 g cm<sup>-3</sup>. Os vasos tiveram o fundo fechado para evitar perda de nutrientes e de água.

Tabela 1. Análise química e de textura do rejeito da mineração de quartzito.

pH <sub>água</sub>	P	K	Ca	Mg	Al	T	m	V	MO	Cascalho/ Calhaus	Areia	Silte	Argila
	- mg dm <sup>-3</sup> -		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				---- % -----		----- g kg <sup>-1</sup> -----				
5,0	1,2	5,3	0,5	0,2	0,2	1,7	24	41	7,1	340,4	554,0	99,0	6,6

pH<sub>água</sub> - Relação solo-água 1:2,5. P e K - Extrator Mehlich-1. Ca, Mg e Al - Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. T - Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. m - Saturação de alumínio. V - Saturação por bases. MO - Matéria orgânica determinado através da multiplicação do resultado do carbono orgânico pelo método Walkey-Black por 1,724. Cascalho/calhaus – Tamisação em peneira de 2,0 mm. Areia, silte e argila - Método da pipeta.

Na instalação do experimento foram aplicados 0,119 g de calcário dolomítico por dm<sup>3</sup> de rejeito para fornecimento de Ca e Mg pelo método da saturação por bases para elevação de V a 55% (ALVAREZ V.; RIBEIRO, 1999). Na mesma época foi realizada a adubação fosfatada e a adubação orgânica em acordo com combinações de AM e AO descritas. O material de rejeito foi incubado por mais 30 dias, sendo a umidade do material mantida durante todo o experimento em 60% do volume total de poros (VTP), aferida diariamente através de pesagem, completando-se o peso com água deionizada. Uma semana antes do início do experimento foi feita a adubação de 0,0005 g de B (ácido bórico) e 0,001 g de Zn (sulfato de zinco) por dm<sup>3</sup> de rejeito (CANTARUTTI et al., 1999).

As sementes de jacarandá do cerrado foram coletadas em árvores selecionadas no campo e colocadas a germinar diretamente nos vasos contendo o rejeito de quartzito, 30 dias após a germinação das sementes foi feito o desbaste deixando-se apenas uma planta por vaso. As adubações nitrogenadas e potássicas em cobertura iniciaram 15 dias após o desbaste e foram parceladas em quatro vezes sendo as aplicações realizadas em intervalos de 15 dias.

Após um período experimental de 125 dias foram avaliadas as seguintes variáveis: altura das mudas, medida do colo até a gema apical obtida entre a superfície do substrato e a inserção do último par de folhas do ápice, com régua graduada de precisão de 1,0 mm; diâmetro do caule medido na altura do colo obtido com auxílio de um paquímetro digital modelo com precisão de 0,01 mm. Depois de medidos os diâmetros e as alturas, as mudas foram cortadas rente ao solo.

O material vegetal, após coletado, foi lavado em água destilada, e seco em estufa, com circulação forçada de ar, à temperatura de 65 °C, por 72 horas até atingir peso constante para determinação da massa seca da parte aérea e das raízes.

Para avaliação do estado nutricional de *Dalbergia miscolobium* sob AO e AM em rejeito da mineração de quartzito, após moagem da massa seca da parte aérea, as amostras foram analisadas para os teores de nutrientes segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). Para o cálculo total dos conteúdos de nutrientes da parte aérea de jacarandá do

cerrado, multiplicou-se o teor de cada nutriente pela massa seca da parte aérea e, dessa forma, obteve-se o acúmulo de cada nutriente na parte aérea.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Para se obter a porcentagem de AM e AO para melhor crescimento das mudas de jacarandá do cerrado utilizou-se de um procedimento multivariado através do processo da variável canônica (MORRISON, 1967). Com a variável canônica de maior autovalor obteve-se os escores a partir do vetor observação de cada unidade experimental das variáveis de crescimento das mudas de jacarandá estudadas, reduzindo-o para único valor. Tais escores foram submetidos à análise de variância univariada e as combinações de AM e AO foram submetidas a estudo de regressão polinomial. A média do controle foi comparada com os demais tratamentos pelo teste de F.

O teor adequado e acumulado de nutrientes na parte aérea de jacarandá do cerrado foi estimado substituindo-se a porcentagem de AM e AO para o máximo crescimento nas equações que relacionam a porcentagem de AM e AO com essas variáveis. Foi utilizado o programa SAS for Windows pelo procedimento PROG GLM e REG para os procedimentos estatísticos.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As características de crescimento das mudas de jacarandá apresentaram influência da adubação mineral (AM) e orgânica (AO) aplicada no rejeito da mineração de quartzito (Tabela 2). O tratamento controle (sem AM e AO) foi inferior as demais combinações de AM e AO quanto às variáveis de crescimento da espécie (Tabela 2). As combinações não adequadas de AM e AO mostrou-se limitante, afetando em geral o crescimento das mudas de jacarandá em altura, diâmetro e produção de massa seca da parte aérea e das raízes (Tabela 2). O maior crescimento da espécie, observado com 100 % AM em relação aos demais tratamentos e ao controle, se deve ao efeito positivo da adubação mineral. Este efeito no crescimento pode ser relacionado com as modificações nas propriedades químicas do substrato, que por sua vez, influencia na capacidade de absorção pelas plantas, e o seu retorno pela liberação dos nutrientes através da decomposição do material vegetal depositado sobre o substrato (VEZZANI et al., 2001) respondendo com aumento das taxas de crescimento em condições mais férteis.

Tabela 2. Diâmetro do caule, altura de mudas, massa seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR) e relação de MSR e MSPA de mudas de jacarandá aos 125 dias em função da porcentagem de adubação mineral (AM) e orgânica (AO) aplicada em rejeito da mineração de quartzito.

AM	AO	Diâmetro	Altura	MSPA	MSR	Relação
	%	(mm)	(cm)	(g)	(g)	MSR/MSPA
100	0	4,24	26,00	1,38	0,69	0,49
75	25	4,18	22,88	1,10	0,54	0,49
50	50	4,14	21,88	0,91	0,35	0,39
25	75	3,31	19,38	0,73	0,27	0,34
0	100	3,14	15,95	0,63	0,17	0,30
Controle <sup>(1)</sup>		2,69*	11,25*	0,45*	0,16*	0,38
Média		3,61	19,55	0,87	0,36	0,39
CV(%)		12,46	18,69	27,47	30,68	28,35

<sup>(1)</sup>\* Diferencia do controle das porcentagens de adubação mineral (AM) e orgânica (AO) pelo teste F a 5%.

Em termos de alteração na partição de matéria seca, entre raízes e parte aérea (relação R/PA), diante das mudanças de disponibilidade dos nutrientes em função das combinações de adubação, observou-se que o jacarandá do cerrado teve maior relação na combinação de 100 % AM e 0% AO apresentando relação de 0,49, enquanto que o controle apresentou relação de 0,38 (Tabela 2). A relação R/PA em mudas de angico amarelo foi de 0,53 no tratamento completo (VENTURIN et al., 1999) enquanto que em mudas de jatobá foi de 0,60 em tratamento completo (150 mg dm<sup>-3</sup> de N; 275 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 90 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O). Esses autores consideram como valores ideais para a produção de mudas a serem levadas ao campo, uma relação situada entre a 0,45 e 0,50.

Pelos escores de crescimento das mudas de jacarandá do cerrado da variável canônica (VC = -1,8532\*Diâmetro + 0,6837\*Altura - 0,1990\*MSPA - 0,0647\*MSR - 0,4402\*Relação MSR/MSPA com autovalor = 92 %) verificou-se que o máximo crescimento foi atingido com a porcentagem de 100 % de AM (Figura 1), que corresponde a dose de 25 mg N, 25 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20 mg K<sub>2</sub>O por dm<sup>3</sup> de rejeito, sem adição de esterco de curral.

O crescimento das plantas de jacarandá foi maior na combinação de 100% AM e 0 % AO (Tabela 2 e Figura 1), mostrando que a adubação mineral NPK é fundamental no crescimento inicial da espécie em substrato resultante da mineração de quartzito.

Respostas positivas com adubação mineral N, P e K foram observadas em estudos realizados com candeia (VENTURIN, et al., 2005); em candiúva (*Trema micrantha*) (VENTURIN et al., 2000), e com outras espécies como a *Acacia mangium* (DIAS et al., 1991), cedro (*Cedrela fissilis*) (SILVA e MUNIZ, 1995), peroba rosa (*Aspidosmerma polyneurom*) (MUNIZ e SILVA, 1995); sete-cascas (*Samanea inopinata*) (CRUZ et al., 2006), grápia (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride) em Argissolo Vermelho distrófico arênico

(NICOLOSO et al., 2009); para aroeirinha (*Schinus terebinthifolius* Raddi), paineira (*Chorisia speciosa* St. Hill.), e jambolão (*Sygygium jambolanum* Lam.) (FERNANDES et al., 2000).

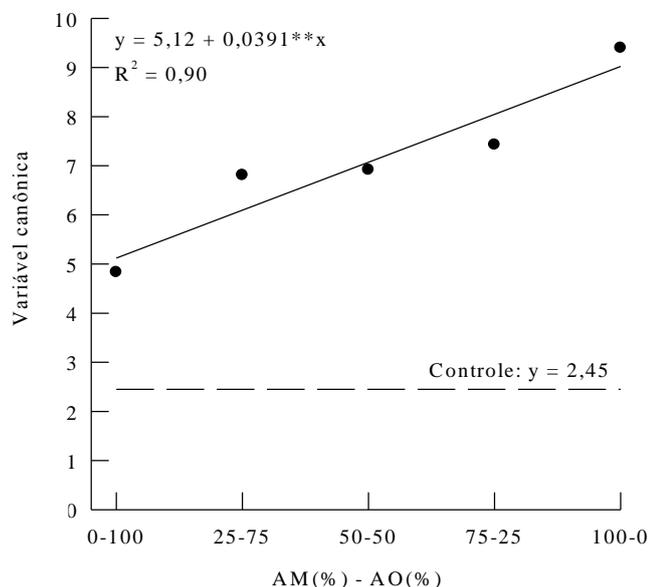


Figura 1. Escore da variável canônica da análise multivariada em função da porcentagem de adubação mineral (AM) e orgânica (AO) aplicada em rejeito da mineração de quartzito no crescimento de mudas de jacarandá (\*\* significativo a 1% pelo teste de t).

Existem diversos métodos de avaliar o estado nutricional das plantas, sendo um dos principais a diagnose foliar (GESSEL et al., 1960; MAGALHÃES e BLUM, 1999). A identificação dos teores de nutrientes das plantas, considerando o ambiente natural circundante é relevante por vários motivos; é parâmetro de referência para o manejo de plantas da mesma espécie com deficiências nutricionais, serve como subsídio para recuperação de áreas degradadas, além da importância na adoção em programas de reflorestamento com espécies florestais nativas.

Os teores de nutrientes foram influenciados pela AM que diferiram do controle, exceto o teor de N na parte aérea da espécie (Tabela 3). A avaliação do estado nutricional de *Dalbergia miscolobium* permitiu obter os teores adequados de macro e micronutrientes (Tabela 3) para a espécie em área degradada pela extração de quartzito em função da combinação de AM e AO que proporcionou o máximo crescimento.

O teor foliar adequado de N no jacarandá cultivada em rejeito de quartzito com 100% de AM e 0% AO no qual proporcionou o maior crescimento das plantas de jacarandá aos 125 dias (Tabela 3) está dentro da faixa adequada para essências florestais preconizada por Malavolta et al. (1997) que varia de 12 a 35 g kg<sup>-1</sup> confirmando a importância da AM quanto à disponibilidade de N para atender a demanda nutricional da espécie.

Tabela 3. Equações de regressão ajustadas para os teores de macro e micronutrientes na parte aérea de mudas de jacarandá em função da porcentagem de adubação mineral aplicada em rejeito da mineração de quartzito, teor de nutrientes correspondente a 100% de adubação mineral (AM) e no controle, num período de 125 dias.

Nutriente <sup>(1)</sup>	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>	AM <sup>(2)</sup>	Controle <sup>(3)</sup>
N	$\hat{y} = 11,32 + 0,0450^{**}x$	0,93	15,83	13,06
P	$\hat{y} = 4,14 - 0,0193^{**}x$	0,87	2,21	0,18*
K	$\hat{y} = 0,45 + 0,0906^{**}x$	0,95	9,51	2,43*
Ca	$\hat{y} = 17,51 - 0,1388^{**}x$	0,97	3,63	4,40*
Mg	$\hat{y} = 7,85 - 0,0608^{**}x$	0,86	1,77	5,25*
S	$\hat{y} = 3,60 - 0,1132^{**}x + 0,0011^{**}x^2$	0,98	2,92	0,72*
B	$\hat{y} = 30,89 - 0,1457^{**}x$	0,90	16,32	33,77*
Cu	$\hat{y} = 11,06 + 0,1555^{**}x$	0,99	26,61	7,55*
Fe	$\hat{y} = 101,95 - 0,4607^{**}x$	0,84	55,88	107,35*
Mn	$\hat{y} = 237,65 + 5,8974^{**}x - 0,0743^{**}x^2$	0,86	84,13	50,09*
Zn	$\hat{y} = 10,09 - 0,0606^{**}x$	0,91	4,03	2,55*

\*\*significativo a 1% pelo teste de t. <sup>(1)</sup> Macronutrientes em g kg<sup>-1</sup> e micronutrientes em mg kg<sup>-1</sup>. <sup>(2)</sup> Teor nutriente na aplicação de 100 % AM. <sup>(3)</sup> \* Diferencia do controle dos demais tratamentos pelo teste F a 5%. <sup>(4)</sup> Teor médio das combinações de AM e AO.

No estágio juvenil a demanda de N é muito elevada (GONÇALVES et al., 2000) e a maior absorção e assimilação de N é aceita como uma das principais causas da resposta em crescimento (VAZ et al., 2002). Ao comparar o teor de N entre o controle e o 100 % AM, tem-se que, o teor no controle (Tabela 3) foi inferior, no entanto, encontra-se dentro da faixa adequada (MALAVOLTA et al., 1997), esta resposta deve-se possivelmente ao efeito da concentração (MARQUES et al., 2005) devido ao menor crescimento da planta no controle (Tabela 2).

Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Venturin et al. (1999) em experimento para determinar as concentrações de nutrientes na parte aérea de plantas de angico amarelo cultivadas em Latossolo Amarelo com aplicação de 150 mg de N, 275 mg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 90 mg de K<sub>2</sub>O por kg de solo; Inferior aos teores obtidos por Barroso et al. (2005) quando avaliou a concentração foliar de N em teca (*Tectona grandis*) em solução nutritiva completa (N= 8 mmol L<sup>-1</sup> (37,5% de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)); e por Marques et al. (2004) em mudas de paricá no tratamento completo aos 49 dias após a aplicação da solução nutritiva completa (N= 8 mmol L<sup>-1</sup> (37,5% de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)).

A concentração do P na parte aérea de jacarandá na combinação de 100% AM e 0% AO (Tabela 3) encontra-se dentro da faixa adequada de 1,0 a 2,3 g kg<sup>-1</sup> (MALAVOLTA et al., 1997) para essências florestais. Esse comportamento pode ser explicado pela textura arenosa do substrato. Essa disponibilidade pode ser influenciada pela textura do solo, sendo que a

adsorção de P em solos arenosos é menor que em solos com maior teor de argila (FALCÃO e SILVA, 2004). Já no controle como era esperado, o teor de P na parte aérea está deficiente (abaixo da faixa adequada), uma vez que a disponibilidade de P no solo é um fator que interfere diretamente na sua absorção pelas plantas (MACHADO et al., 2011). Isso demonstra que a quantidade aplicada de P no melhor tratamento para obter o máximo crescimento foi suficiente para atender a demanda nutricional e que a adubação fosfatada é responsiva no crescimento inicial e na produção de jacarandá.

O teor foliar de P na parte aérea de jacarandá do cerrado (Tabela 3) foi superior ao encontrado por Braga et al. (1995) em Acácia (*Acacia mangium*) e quaresmeira (*Tibouchina granulosa*) com teores de P de 1,4 e 1,7 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Em mudas de jatobá cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo com adubação completa (150 mg de N, 275 mg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 90 mg de K<sub>2</sub>O por kg de solo) com teor de P de 0,44 g kg<sup>-1</sup> (DUBOC et al., 1996). E inferir quando comparado ao teor foliar de P obtido por Gonçalves et al. (1992) que relataram teor de 2,50 g kg<sup>-1</sup> de P em mudas sadias de canafístula, com bom desenvolvimento vegetativo, e por Marques et al (2004) em mudas de paricá (*Schizolobium amazonicum*) de 4,37 g kg<sup>-1</sup> de P.

Com 100 % AM, verifica-se que o teor foliar de K (Tabela 3) para a espécie está abaixo da faixa adequada de 10 a 15 g kg<sup>-1</sup> (MALAVOLTA et al., 1997) para essências florestais, provavelmente devido ao efeito diluição. No tratamento com máximo crescimento, verifica-se que o teor foliar de K para a espécie está abaixo da faixa adequada de 10 a 15 g kg<sup>-1</sup> (MALAVOLTA et al., 1997) para essências florestais. Este fato pode ser explicado possivelmente pelo efeito diluição (MALAVOLTA et al., 1997). Verifica-se na parte aérea do tratamento controle que o teor de K foi menor quando comparado ao tratamento com maior crescimento (Tabela 3), no entanto, o teor no controle também se encontra muito abaixo da faixa adequada, e se deve possivelmente ao fato de não ter aplicado qualquer tipo de fertilizante, uma vez que, o teor de K na massa seca da parte aérea também varia com a disponibilidade do nutriente no solo (MALAVOLTA et al., 1997).

Obteve teores foliares de K em plantas de paricá de 15,40 g kg<sup>-1</sup> superior ao obtido neste trabalho (MARQUES et al., 2004). Teores de K superiores ao obtido neste trabalho foram obtidos por Sorreano et al. (2011) quando avaliaram mudas de *Croton urucurana* na adubação completa em solução nutritiva de 34,1 g kg<sup>-1</sup> de K, e por Barroso et al. (2005), avaliando concentração de macronutrientes e deficiências nutricionais em mudas de teca de 23 g kg<sup>-1</sup> de K.

Na massa seca da parte aérea de jacarandá cultivada em rejeito de quartzito com 100% de AM, os teores foliares de Ca e Mg (Tabela 3) se encontram dentro da faixa adequada para essências florestais de 3 a 12 g kg<sup>-1</sup> de Ca e de 1,5 a 5,0 g kg<sup>-1</sup> de Mg (MALAVOLTA et al., 1997). Estes teores de Ca e de Mg do substrato foram supridos via aplicação de calcário dolomítico para fornecimento de Ca e Mg pelo método da saturação por bases para 55%, considerados suficientes para suprir as necessidades das plantas nessa fase.

O teor foliar de Ca encontrado aplicação de 100 % de AM está abaixo ao encontrados por Venturin et al. (1999) para *Peltophorum dubium* (4,6 g kg<sup>-1</sup>) em Latossolo Amarelo com adubação completa (150 mg N, 275 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e 90 mg K<sub>2</sub>O, por kg de solo), por Sorreano et al. (2011) para *Croton urucurana* (15,8 g kg<sup>-1</sup>) e por Barroso et al. (2005) em plantas de teca (10,55 g kg<sup>-1</sup>).

Quanto ao macronutriente S, o teor do controle diferiu das combinações de AM e AO (Tabela 3). Enquanto que com 100% AM, o teor de S na parte área do jacarandá (Tabela 3) se encontra acima da faixa adequada, já no controle, o teor encontra-se abaixo da faixa adequada de 1,4 a 1,6 g kg<sup>-1</sup> (MALAVOLTA et al., 1997). Essa diferença observada, provavelmente deve-se ao fato de que, a quantidade de S no substrato na melhor combinação de AM e AO pelo uso do sulfato de amônio como fonte de N.

O teor de S com 100% AM foi superior aos obtidos por Duboc et al. (1996) de 0,65 g kg<sup>-1</sup> de S com aplicação de 30 mg dm<sup>-3</sup> de S no solo, avaliando o teor de nutrientes na matéria seca da parte aérea de plantas de jatobá na adubação completa. Próximos aos obtidos por Marques et al. (2004) para *Schizolobium amazonicum* com teores entre 2,7 g kg<sup>-1</sup> e 2,2 g kg<sup>-1</sup> em solução nutritiva completa e por Viégas et al. (2002) para *Annona muricata* com teores de 2,3 g kg<sup>-1</sup> com aplicação desse nutriente em solução nutritiva completa.

Em relação ao teor de micronutrientes no controle, de modo geral, são ligeiramente inferiores (Tabela 3) quando comparados aos teores na parte área do jacarandá na melhor combinação de AM e AO. No entanto, todos os micros, exceto Cu e Zn, no controle tiveram teores dentro da faixa adequada preconizada por Malavolta et al. (1997) para essências nativas.

Com relação aos elementos Cu, Fe e B os valores encontrados para os teores desses micronutrientes na parte aérea da espécie na melhor combinação de AM e AO estão dentro da faixa de variação considerada adequada entre 10 a 70 para o Cu, de 25 a 200 para o Fe, e de 10 a 70 mg kg<sup>-1</sup> para o B para espécies florestais (MALAVOLTA et al., 1997)

O teor adequado desses micronutrientes na parte aérea da espécie em estudo também explica o seu maior crescimento nesse tratamento, uma vez que, apesar de suas baixas

concentrações dentro dos tecidos e dos órgãos das plantas, os micronutrientes têm a mesma importância dos macronutrientes para a nutrição (KIRKBY e RÖMHELD, 2007). Enquanto, o Cu atua em diversos processos fisiológicos, o Zn atua nos processos metabólicos das plantas, já o B atua na dominância das gemas apicais e crescimento das plantas e o Fe que atua na constituição das enzimas (KIRKBY e RÖMHELD, 2007).

A ordem relativa da concentração de macro e micronutrientes na parte aérea de jacarandá do cerrado foram  $N > K > Ca > S > P > Mg > Mn > Fe > Cu > B > Zn$  (Tabela 3). A maior concentração de N, em folhas também foi registrada em mudas de angico (VENTURIN et al., 1999), teca (BARROSO et al., 2005), jatobá (DUBOC et al., 1996) e Paricá (MARQUES et al., 2004). Verificou neste trabalho efeito significativo ( $P < 0,05$ ) para acumulação de todos os macros e micronutrientes na parte aérea de *Dalbergia miscolobium* em função da porcentagem de AM (Tabela 4).

Verifica-se que os valores acumulados de nutrientes pela espécie no controle foram sempre inferiores quando comparados ao tratamento com maior crescimento (100% AM) (Tabela 4), isso se deve, de modo geral, a menor produção de massa seca da parte aérea no controle (Tabela 2). Os valores acumulados para os macronutrientes na parte aérea apresentaram a seguinte ordem de acúmulo:  $N > K > Ca > S > P > Mg$  (Tabela 4). Dentre os micronutrientes, na parte aérea a ordem decrescente das quantidades acumuladas ocorreu para  $Mn > Fe > Cu > B > Zn$  (Tabela 4).

Tabela 4. Equações de regressão ajustadas para o acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea de mudas de jacarandá em função da porcentagem de adubação mineral aplicada em rejeito da mineração de quartzito, acúmulo máximo (AM) de nutrientes e no controle, num período de 125 dias.

Nutriente <sup>(1)</sup>	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>	AM <sup>(2)</sup>	Controle <sup>(3)</sup>
N	$\hat{y} = 5,90 + 0,1484**x$	0,94	20,73	5,91*
P	$\hat{y} = 2,44 + 0,0079**x$	0,95	3,23	0,08*
K	$\hat{y} = 0,69 + 0,1250**x$	0,99	13,19	1,10*
Ca	$\hat{y} = 11,43 - 0,0532**x$	0,91	6,10	1,99*
Mg	$\hat{y} = 5,13 - 0,0220**x$	0,84	2,93	2,39*
S	$\hat{y} = 2,39 - 0,0899**x + 0,0010**x^2$	0,96	3,86	0,33*
B	$\hat{y} = 20,57 - 0,0874**x + 0,0013**x^2$	0,95	24,88	15,28*
Cu	$\hat{y} = 4,66 + 0,2931**x$	0,97	33,96	3,41*
Fe	$\hat{y} = 60,10 + 0,2127**x$	0,94	81,37	48,58*
Mn	$\hat{y} = 134,16 + 7,5067**x - 0,0763**x^2$	0,80	121,69	22,67*
Zn	$\hat{y} = 4,64 + 0,0745**x - 0,0006**x^2$	0,97	6,09	1,15*

\*\* significativo a 1% pelo teste de t. <sup>(1)</sup> Macronutrientes em mg planta<sup>-1</sup> e micronutrientes em µg planta<sup>-1</sup>. <sup>(2)</sup> Acúmulo máximo na aplicação de 100 % AM. <sup>(3)</sup> \* Diferencia do controle dos demais tratamentos pelo teste F a 5%.

Não existe informação detalhada quanto o acúmulo de nutrientes por jacarandá do cerrado em áreas degradadas pela de extração de quartzito. As quantidades de nutrientes alocados na biomassa vegetal devem ser consideradas, uma vez que, o conhecimento acerca do acúmulo de nutrientes pela espécie em ambiente degradado, é importante não só para o entendimento da dinâmica dos nutrientes, mas principalmente para o estabelecimento de práticas para a recuperação de sítios degradados (SOUZA e DAVIDE, 2001).

## CONCLUSÕES

1. O uso da adubação mineral de NPK no rejeito de quartzito favoreceu o crescimento da *Dalbergia miscolobium*.

2. Houve resposta das mudas de jacarandá a adubação mineral com as doses recomendadas de 25 mg N, 25 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20 mg K<sub>2</sub>O por dm<sup>3</sup> de rejeito da mineração de quartzito.

3. Os teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S em g kg<sup>-1</sup> e, B, Cu, Fe, Mn, e Zn em mg kg<sup>-1</sup> na parte aérea de *Dalbergia miscolobium* foram 15,83; 2,21; 9,51; 3,63; 1,77; 2,92; 16,32; 26,61; 55,88; 84,13; 4,03; respectivamente.

4. O acúmulo de nutrientes pela espécie *Dalbergia miscolobium* nas doses recomendadas foi na seguinte ordem na parte aérea: N > K > Ca > S > P > Mg > Mn > Fe > Cu > B > Zn.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de mestrado. A Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri pela infraestrutura necessária á condução do experimento.

## REFERÊNCIAS

ALVAREZ, V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.43-60.

AZEVEDO, A.M.M.; DELGADO, C.C. Mineração, meio ambiente e mobilidade populacional: Um levantamento nos estados do Centro-Oeste expandido. In: ENCONTRO

DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 13, 2002, Ouro Preto, **Anais...** Ouro Preto, 2002. (CD-ROOM)

BARROSO, D.G.; FIGUEIREDO, F.A.M.A.; PEREIRA, R.C.; MENDONÇA, A.V.R.; SILVA, L.C. Diagnóstico de deficiências de macronutrientes em mudas de teca. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.5, p.671-679, 2005.

BRAGA, F.A.; VALE, F.R.; VENTURIN, N. Exigências nutricionais de quatro espécies florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.19, n.1, p.18-32, 1995.

CANTARUTTI, R.B.; MARTINS, C.E.; CARVALHO, M.M.; FONSECA, D.M.; ARRUDA, M.L.; VILELA, H.E.; OLIVEIRA, F.T.T. Pastagens. 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.332-341.

CFSEMG. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Adubação orgânica. 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.87-92.

CHAER, G.M.; RESENDE, A.S.; CAMPELLO, E.F.C.; FARIA, S.M.; BODDEY, R.M.; SCHIMIDT, S. Nitrogen-fixing legume tree species for the reclamation of severely degraded lands in Brazil. **Tree Physiology**. Oxford, v.31, n.2, p.139-149. 2011.

CRUZ, C.A.F.; PAIVA, H.N.; GUERRERO, C.R.A. Efeito da adubação nitrogenada na produção de mudas de sete-cascas (*Samanea inopinata* (Harms) Ducke). **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.4, p.537-546, 1995.

CULLEN, W.R.; WHEATER, C.P.; DUNLEAVY, P.J. Establishment of species-rich vegetation on reclaimed limestone quarry faces in Derbyshire, UK. **Biological Conservation**, Boston, v.84, n.2, p.25-33, 1998.

DANIEL, O., VITORINO, A.C.T., ALOVISI, A.A. Aplicação de fósforo em mudas de *Acacia mangium* WILL). **Revista Árvore**, Viçosa, v.21, n.2, p.163-168, 1997.

DUBOC, E.; VENTORIN, N.; VALE, F.R.; DAVIDE, A.C. Nutrição do jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang.). **Cerne**, Lavras, v.2, n.1, p.01-12, 1996.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212p.

FALCAO, N.P.S.; SILVA, J.R.A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. **Acta Amazônica**, Manaus, v.34, n.3, p. 337-342. 2004.

FERNANDES, L. A.; FURTINI NETO, A. F.; FONSECA, F. C.; VALE, F.R. Crescimento inicial, níveis críticos de fósforo e frações fosfatadas em espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1191-1198, 2000.

GESSEL, S.P.; TURNBULL, K.Y.; TREMBLAY, F.J. **How to fertilize trees and measure response**. Washington: National Plant Food Institute, 1960. 67 p.

GONÇALVES, J.L.M.; KAGEYAMA, P.Y.; FREIXÊDAS, V.M.; GONÇALVES, J.C.; GERES, W.L.A. Capacidade de absorção e eficiência nutricional de algumas espécies arbóreas tropicais. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2, São Paulo, SP, 1992. **Anais...** São Paulo: Instituto Florestal, 1992. p.463-468.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V.A.G.; GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. p.3-57.

KIRKBY, E.A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.118, p.1-24, 2007.

MACHADO, V.J.; SOUZA, C.H.E; ANDRADE, B.B; LANA, R.M.Q; KORNDORFER, G.H. Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.1, p.70-76, 2011.

MAGALHAES, L.M.S.; BRUM, W.E.H. Concentração e distribuição de nutrientes nas folhas de espécies florestais, na Amazônia Ocidental. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.6, n.1, p.127-137, 1999.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARQUES, T.C.L.L.M.; CARVALHO, J.G.; LACERDA, M.P.C.; MOTA, P.E.F. Exigências nutricionais do paricá (*Schizolobium amazonicum*, Herb.) na fase de muda. **Cerne**, Lavras, v.10, n.2, p.167-183, 2004.

MORRISON, D. F. **Multivariate statical methods**. New York: Mc Graw-Hill Book CO, 1967. 415p.

MUNIZ, A.S.; SILVA, M.A.G. Exigências nutricionais de mudas de peroba rosa (*Aspidosperma polyneurom*) em solução nutritiva. **Revista Árvore**, Viçosa, v.19, n.2, p.263-271, 1995.

NICOLOSO, F.T.; FOGAÇA, M.A.F.; ZANCHETI, F.; FORTUNATO, R.P.; MISSIO, E.L. Exigências nutricionais da grábia em Argissolo Vermelho distrófico arênico: efeito da adubação NPK no teor de nutrientes nos tecidos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.40, n.3, p.417-426, 2009.

NUNES, R.V.; SILVA-JUNIOR, M.C.; FELFILI, J.M.; WALTER, B.M.T. Intervalos de classe para abundância, dominância, e frequência do componente lenhoso do cerrado sentido restrito no distrito Federal. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.2, p.173-182, 2002.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2009. 627p.

SILVA, M.A.G.; MUNIZ, A.S. Exigências nutricionais de mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Velloso) em solução nutritiva. **Revista Árvore**, Viçosa, v.19, n.3, p.415-425, 1995.

SORREANO, M.C.M.; MALAVOLTA, E.; SILVA, D.H.; CABRAL, C.P. Deficiência de macronutrientes em mudas de Sangra d'água (*Croton urucurana*, Baill.). **Cerne**, Lavras, v.17, n.3, p.347-352, 2011.

SOUZA, J.A.; DAVIDE, A.C. Deposição de serapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. **Cerne**, Lavras, v.7, n.1, p.101-113, 2001.

VAZ, L.M.S.; GONÇALVES, J.L.M. Uso de biossólidos em povoamento de eucalipto: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.3, p.747-758, 2002.

VENTURIN, N.; DUBOC, E.; VALE, F.R.; DAVIDE, A.C. Adubação mineral do angico-amarelo (*Peltophorum dubium* (SPRENG.) TAUB.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.3, p.441-448, 1999.

VENTURIN, N.; SOUZA, P.A.; VENTURIN, R.P. Avaliação nutricional da candiúva (*Trema micrantha* L. Blumes) em casa de vegetação. **Floresta**, Rio de Janeiro, v.29, n.1-2, p.15-26, 2000.

VENTURIN, N.; SOUZA, P.A.; MACEDO, R.L.G.; NOGUEIRA, F.D. Adubação mineral da candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeish). **Floresta**, Curitiba, v.35, n.2, p.211-219, 2005.

VEZZANI, F.M.; TEDESCO, M.J.; BARROS, N.F. Alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de eucalipto e acácia negra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.225-231, 2001.

WILLIAMS, E.D. Changes during 3 years in the size and composition of seed bank beneath a long-term pasture as influenced by defoliation and fertilizer regime. **Journal of Applied Ecology**, London, v.21, n.2, p.603-616, 1984.

WILLIAMSON, J.C.; ROWE, E.C.; HILL, P.W.; NASON, M.A.; JONES, D.L.; HEALEY, J.R. Alleviation of both water and nutrient limitations is necessary to accelerate ecological restoration of waste rock tips. **Restoration Ecology**, Malden, v.19, n.2, p.194-204, 2011.

## CONCLUSÃO GERAL

Na fase de crescimento de mudas há a necessidade da recomendação de adubação seja mineral, orgânica, e ou, mineral e orgânica, para garantir o crescimento e o desenvolvimento das plantas em áreas degradadas pela mineração de quartzito.

As espécies responderam diferentemente a combinação de adubação mineral e orgânica, com particularidades quanto às exigências nutricionais, possibilitando fazer a recomendação da adubação em função das exigências nutricionais de cada espécie.

A adubação orgânica e mineral recomendada em função das exigências nutricionais de cada espécie possibilitou obter os teores de nutrientes na parte aérea de cada espécie estudada.

O estudo desenvolvido é de grande importância para o sucesso de programas que visem à restauração de áreas degradadas pela mineração de quartzito, devendo para tanto ser realizadas pesquisas com as mais diferentes espécies com potenciais para serem usadas nesses programas, bem como avaliar o comportamento dessas espécies em condições de campo.