

Crescimento de *Dalbergia miscolobium* em substrato de rejeito da mineração de quartzito fertilizado

Cristiany Silva Amaral¹, Enilson de Barros Silva¹, Israel Marinho Pereira¹, Bárbara Olinda Nardis¹, Neubert Homem Gonçalves¹

¹Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Rod. MGT 367, Km 583, nº 5000, Alto da Jacuba, CEP 39100-000, Diamantina, MG, Brasil.

*Autor correspondente:
ebsilva@ufvjm.edu.br

Termos para indexação:

Área degradada
Adubação mineral
Adubação orgânica
Acúmulo de nutrientes

Index terms:

Degraded area
Chemical fertilization
Organic fertilization
Nutrient accumulation

Histórico do artigo:

Recebido em 21/08/2012
Aprovado em 18/06/2013
Publicado em 28/06/2013

doi: 10.4336/2013.pfb.33.74.423

Resumo - O objetivo desse trabalho foi avaliar o comportamento de *Dalbergia miscolobium* Benth 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. O experimento foi conduzido 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: 100%AM; 25%AO+75%AM; 50%AO+50%AM; 75%AO+25%AM; 100%AO. As doses de 100% de AM e AO foram de 25 mg N, 25 mg P₂O₅, 20 mg K₂O e 5 g de esterco de curral por dm³ de rejeito. As plantas de *D. miscolobium* responderam à adubação mineral com as doses recomendadas, sem adição de esterco de curral. O acúmulo de nutrientes nas plantas de *D. miscolobium* nas doses recomendadas foi na seguinte ordem na parte aérea: N > K > Ca > S > P > Mg > Mn > Fe > Cu > B > Zn. O rejeito da mineração de quartzito forma um habitat favorável para o crescimento de *D. miscolobium* com adubação mineral.

Growth of *Dalbergia miscolobium* seedling in quartzite mining reject substrate, with fertilization

Abstract - Growth of *Dalbergia miscolobium* Benth was evaluate under quartzite mining reject with chemical and organic fertilization, aiming at to support actions for restoration of degraded areas after quartzite mining. A greenhouse experimentation was carried out in a completely randomized design with four replications. The treatments consisted of five combinations of chemical (CF) and organic (OF) fertilizer and an additional treatment without CF or OF (Control). The combinations were: 100%CF; 25%OF+75%CF; 50%OF+50%CF; 75%OF+25%CF; 100%OF. Doses of 100% CF and OF were of 25 mg N, 25 mg P₂O₅, 20 mg K₂O and 5 g of bovine manure per dm³ of reject. The plants of *D. miscolobium* responded to chemical fertilization with recommended doses, without addition of bovine manure. The accumulation of nutrients at recommended doses in shoots of *D. miscolobium* were: N > K > Ca > S > P > Mg > Mn > Fe > Cu > B > Zn. The quartzite mining reject of may be a favorable habitat for *D. miscolobium* growth when with chemical fertilization.

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 (Bacci et al., 2006). No entanto, a extração mineral é uma das principais atividades antrópicas que causam intensa degradação dos ecossistemas. Apesar das atividades mineradoras causarem a degradação de menores extensões de áreas quando comparadas às atividades agropecuárias, o impacto ambiental local é muito maior, uma vez que 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), pois desfavorece o restabelecimento natural das espécies pela remoção da serapilheira, que contém sementes de plantas herbáceas, arbustivas e arbóreas que formam o banco de sementes e de plântulas (Williams, 1984).

Atualmente, observa-se 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. A atividade de mineração tem sido substituída pela exploração de maciços de quartzito, o que resulta na degradação da vegetação e 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, existe uma demanda de informações básicas sobre o comportamento das espécies nativas nesses ambientes, que subsidiem a proposição de estratégias voltadas para a restauração de áreas degradadas.

Dalbergia miscolobium Benth (jacarandá do cerrado) destaca-se entre as espécies com potencial para recuperação de áreas degradadas (Nunes et al., 2002).

Essa espécie, pertence à família Fabaceae, e apresenta alto índice de regeneração natural com alta capacidade de recolonização em áreas degradadas (Nunes et al., 2002), o que justifica seu uso em plantios cuja finalidade seja a restauração ambiental. No entanto, o pouco conhecimento do comportamento dessa espécie, principalmente em relação às suas exigências nutricionais em áreas degradadas pela mineração de quartzito, dificulta a sua utilização em programas de restauração.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o comportamento de mudas de *Dalbergia miscolobium* sob a influência de adubações mineral e orgânica, conduzidas em rejeitos da mineração de quartzito.

Material e métodos

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

O experimento consistiu no uso como substrato de rejeito da mineração de quartzito oriundo de áreas de exploração localizadas no município de Diamantina (MG). A amostra obtida do substrato foi previamente seca ao ar e passada em peneira de 2,0 mm de abertura. Em seguida foram realizadas as análises químicas (Silva, 2009) e de textura do substrato (Claessen, 1997) (Tabela 1). Os resultados da análise química do rejeito da mineração de quartzito, obtido na fração de 2,0 mm, foram ajustados para total da amostra do rejeito, que inclui as frações acima de 2,0 mm (cascalho/calhaus) e fração abaixo de 2,0 mm (areia, silte e argila). Este procedimento foi adotado para não haver superestimação da fertilidade do rejeito utilizado no experimento.

Tabela 1. Resultados das análises químicas e de textura do rejeito da mineração de quartzito.

pH _{água}	P	K	Ca	Mg	Al	T	m	V	MO	Cascalho/ Calhaus	Areia	Silte	Argila
	- mg dm ⁻³ -		----- cmol _c dm ⁻³ -----				---- %-----			----- g kg ⁻¹ -----			
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_{água}: relação solo-água 1:2,5; P e K: extrator Mehlich-1; Ca, Mg e Al: extrator KCl 1 mol L⁻¹; T: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; m: saturação de alumínio; V: saturação por bases; MO: matéria orgânica determinada através da multiplicação do resultado do carbono orgânico pelo método *Walkley-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 tratamentos resultantes de combinações de adubação orgânica (AO) e mineral (AM) e um tratamento adicional (controle), com quatro repetições. As combinações de 0%AO e 100%AM; 25%AO e 75%AM; 50%AO e 50%AM; 75%AO e 25%AM; 100%AO e 0%AM.

Estas combinações corresponderam, respectivamente, às doses de 25 mg N, 25 mg P₂O₅, 20 mg K₂O, por dm³ de rejeito, sem adição de esterco de curral; 18,75 mg N, 18,75 mg P₂O₅, 15 mg K₂O e 1,25 g de esterco de curral, por dm³ de rejeito; 12,5 mg N, 12,5 mg P₂O₅, 10 mg K₂O e 2,5 g de esterco de curral, por dm³ de rejeito; 6,25 mg N, 6,25 mg P₂O₅, 5 mg K₂O e 3,75 g de esterco de curral, por dm³ de rejeito; e 5 g de esterco sem adição de fertilizante mineral. N, P, e K foram aplicados na forma de sulfato de amônio (20% N e 22% S), superfosfato simples (16% P₂O₅) e cloreto de potássio (58% K₂O), respectivamente. A dose de 5 g de esterco de curral por dm³ de rejeito foi recomendada segundo a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999). A parcela experimental foi composta por vasos de plásticos com capacidade para 5 dm³, onde foram colocados 3 dm³ de rejeito de quartzito seco, obtendo-se a densidade uniforme de 0,93 g cm⁻³. Os vasos tiveram o fundo fechado para evitar perda de nutrientes e de água.

Na instalação do experimento foi aplicado 0,119 g de calcário dolomítico por dm³ de rejeito para fornecimento de Ca e Mg, calculado pelo método da saturação por bases para elevação de V a 55% (Alvarez & Ribeiro, 1999). Na mesma ocasião, foram realizadas a adubação fosfatada e a adubação orgânica, de acordo com as combinações de AM e AO preconizadas. O material de rejeito foi incubado por mais 30 dias, sendo sua umidade 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 adicionada a adubação com 0,0005 g de B (ácido bórico) e 0,001 g de Zn (sulfato de zinco) por dm³ de rejeito (Cantarutti et al., 1999).

As sementes de *Dalbergia miscolobium* foram coletadas em árvores selecionadas no campo e colocadas para germinar diretamente nos vasos contendo o rejeito de quartzito. Trinta dias após a germinação das sementes e emergência das plântulas, foi realizado o desbaste,

deixando-se apenas uma planta por vaso. As adubações nitrogenadas e potássicas em cobertura tiveram início 15 dias após o desbaste e foram parceladas em quatro aplicações 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 com precisão de 1,0 mm; diâmetro do caule, medido à altura do colo, com auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. Após as medições de altura e diâmetro, as mudas de *Dalbergia miscolobium* foram cortadas rente à superfície do substrato.

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

A parte aérea das plantas foi moída para determinação dos teores dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e dos micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn), segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). Para o cálculo total dos conteúdos de nutrientes da parte aérea, multiplicou-se o teor de cada nutriente pela massa seca da parte aérea.

A porcentagem de AM e AO para o melhor crescimento das mudas de *Dalbergia miscolobium* foi obtida por análise multivariada, através do processo da variável canônica (Morrison, 1967). Com a variável canônica de maior autovalor, foram obtidos os escores a partir do vetor observação de cada unidade experimental das variáveis de crescimento das mudas de jacarandá estudadas, reduzindo-os para um único valor. Esses escores foram submetidos à análise de variância univariada, e as combinações de AM e AO foram submetidas ao estudo de regressão polinomial. A média do controle foi comparada com as médias dos demais tratamentos pelo teste de F.

Os teores de nutrientes adequados e acumulados na parte aérea de *Dalbergia miscolobium* foram estimados 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

Pelos escores de crescimento das mudas de jacarandá do cerrado (*D. miscolobium*) da variável canônica (VC = $-1,8532 \cdot \text{diâmetro} + 0,6837 \cdot \text{altura} - 0,1990 \cdot \text{MSPA} - 0,0647 \cdot \text{MSR} - 0,4402 \cdot \text{relação MSR/MSPA}$, com autovalor = 92 %) verificou-se que o máximo crescimento foi atingido com a porcentagem de 100 % de AM (Figura 1), que corresponde à dose de 25 mg N, 25 mg P₂O₅, 20 mg K₂O por dm³ de rejeito, sem adição de esterco de curral, mostrando que a adubação mineral NPK é fundamental no crescimento inicial da espécie em substrato resultante da mineração de quartzito.

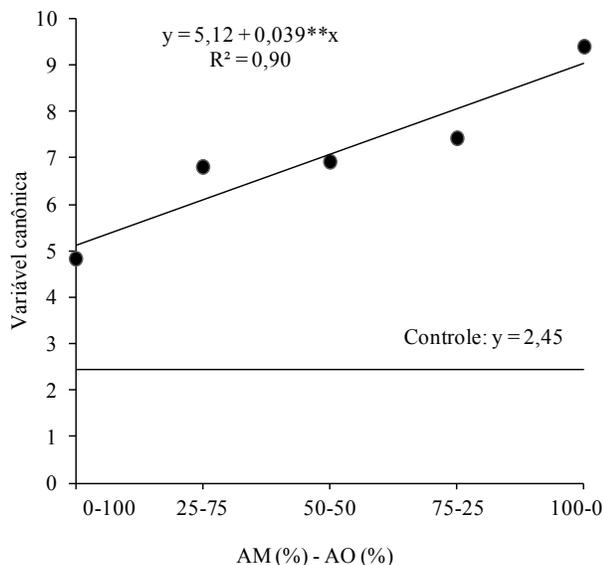


Figura 1. Escore da variável canônica da análise multivariada em função da porcentagem de adubação mineral (AM) e adubação orgânica (AO), aplicadas em rejeito da mineração de quartzito no crescimento de mudas de *Dalbergia miscolobium*.

Respostas positivas com adubação mineral N, P e K foram observadas em estudos realizados com *Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeisch (candeia) (Venturin et al., 2005); *Trema micrantha* (candiúva) (Venturin et al., 2000), *Acacia mangium* (acácia) (Dias et al., 1991), *Cedrela fissilis* (cedro) (Silva & Muniz, 1995), *Aspidosmerma polyneurom* (peroba rosa) (Muniz & Silva, 1995); *Samanea inopinata* (sete-cascas) (Cruz et al., 1995), *Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride (grápia) em Argissolo Vermelho distrófico arênico (Nicoloso et al., 2009); *Schinus terenbinthifolius* Raddi (aroeirinha),

Ceiba speciosa (St. Hill.) Ravenna (paineira) e *Sygygium jambolanum* Lam. (jambolão) (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 & 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 para avaliação do estado nutricional das plantas cultivadas, além da importância na adoção em programas de reflorestamento com espécies florestais nativas.

Os teores de nutrientes na parte aérea de *D. miscolobium* foram influenciados pela AM, sendo que esta adubação diferiu do controle (sem adubação), exceto no teor de N na parte aérea da espécie (Tabela 2). Desta forma, podem-se obter os teores adequados de macro e micronutrientes na parte aérea de *D. miscolobium* (Tabela 2) quando cultivada em área degradada pela extração de quartzito pela adição de AM, proporcionando o máximo crescimento.

O teor de N foliar observado aos 125 dias em plantas cultivadas em rejeito de quartzito com 100% AM e 0% AO (15,83 g de N kg⁻¹ massa seca) está dentro da faixa adequada para essências florestais do cerrado preconizada por Malavolta et al. (1997), que varia de 12 a 35 g kg⁻¹, confirmando a importância da AM 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 tratamento AM 100%, tem-se que o teor deste nutriente no controle foi inferior (Tabela 2). No entanto, encontra-se dentro da faixa adequada (Malavolta et al., 1997). Esta resposta deve-se, possivelmente, ao efeito de sua concentração (Marques et al., 2004) pelo menor porte das plantas no tratamento controle (Tabela 2).

Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Venturin et al. (1999), que determinaram as concentrações de nutrientes na parte aérea de plantas de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. (angico amarelo) cultivadas em Latossolo Amarelo com aplicação de 150 mg de N, 275 mg de P₂O₅ e 90 mg de K₂O por kg de solo. Contudo, é inferior aos teores obtidos por Barroso et al. (2005), que avaliaram a concentração foliar de N em *Tectona grandis* L.f. (teca) em solução nutritiva completa

(N= 8 mmol L⁻¹ (37,5% de NH₄⁺)); e por Marques et al. (2004) em mudas de *Schizolobium amazonicum* Herb. (paricá), aos 49 dias após a aplicação na mesma formulação de solução nutritiva completa (N= 8 mmol L⁻¹ (37,5% de NH₄⁺)).

A concentração do P na parte aérea de *Dalbergia miscolobium* na combinação de 100% AM e 0% AO (Tabela 2) encontra-se dentro da faixa adequada de 1,0 a 2,3 g kg⁻¹ (Malavolta et al., 1997) para essências florestais do cerrado. Esse comportamento pode ser explicado pela textura arenosa do substrato. Essa disponibilidade de P pode ser influenciada pela textura do solo, sendo que a absorção de P em solos arenosos é menor que em solos com maior teor de argila (Falcão & Silva, 2004). 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 de P aplicada 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 fitomassa de *Dalbergia miscolobium*.

O teor foliar de P na parte aérea de *Dalbergia miscolobium* (Tabela 2) foi superior ao encontrado por Braga et al. (1995) em *Acacia mangium* (acácia) e

Tibouchina granulosa (quaresmeira) com teores de P de 1,4 e 1,7 g kg⁻¹, respectivamente; também em mudas de *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (jatobá) cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo com adubação completa (150 mg de N, 275 mg de P₂O₅ e 90 mg de K₂O por kg de solo), o teor de P foi de 0,44 g kg⁻¹ (Duboc et al., 1996). É inferior quando comparado ao teor foliar de P obtido por Marques et al. (2004), que relataram 4,37 g kg⁻¹ de P em mudas de *Schizolobium amazonicum* Herb. (paricá), com bom desenvolvimento vegetativo.

No tratamento 100 % AM verifica-se que o teor foliar de K (Tabela 2) para a espécie está abaixo da faixa adequada, de 10 a 15 g kg⁻¹ para essências florestais, segundo Malavolta et al. (1997). Este fato pode ser explicado pelo efeito diluição, pois existe a resposta em crescimento à adubação de N e P, o que promoveu uma diluição da concentração de K na massa seca da parte aérea das plantas. Verificou-se também que o teor de K foi menor quando comparado ao observado no tratamento com maior crescimento das plantas (Tabela 2). No entanto, o teor no controle também se encontra muito abaixo dos valores da faixa adequada. Isso ocorreu, possivelmente, por não ter sido aplicado qualquer tipo de fertilizante potássico. Além disso, o teor de K na massa seca da parte aérea também varia com a disponibilidade do nutriente no solo (Malavolta et al., 1997).

Tabela 2. Equações de regressão ajustadas para os teores de macro e micronutrientes na parte aérea de mudas *Dalbergia miscolobium* (jacarandá do cerrado) em função da porcentagem de adubação mineral (x) aplicada em rejeito da mineração de quartzito, com teor de nutrientes correspondente a 100% de adubação mineral (AM), e no controle, em um período de 125 dias.

Nutriente (¹)	Equação de Regressão	R ²	AM (²)	Controle (³)
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. (¹) Macronutrientes em g kg⁻¹ e micronutrientes em mg kg⁻¹. (²) Teor nutriente na aplicação de 100% AM. (³) * Diferença do controle dos demais tratamentos pelo teste F a 5%. (⁴) Teor médio das combinações de AM e AO. (⁴) Teor médio das combinações de AM e AO.

O teor foliar de K obtido por Marques et al. (2004) em plantas de *Schizolobium amazonicum* Herb. (paricá) foi de 15,40 g kg⁻¹, superior ao observado nesta pesquisa. Teores de K superiores (34,1 g kg⁻¹) ao obtido neste trabalho foram determinados por Sorreano et al. (2011), quando avaliaram mudas de *Croton urucurana* tratadas com adubação completa em solução nutritiva, e por Barroso et al. (2005) (23 g kg⁻¹), ao avaliarem concentrações de macronutrientes e deficiências nutricionais em mudas de *Tectona grandis* L.f. (teca).

Na massa seca da parte aérea de plantas de *Dalbergia miscolobium* cultivadas em rejeito de quartzito com 100% de AM, os teores foliares de Ca e Mg (Tabela 2) se encontram dentro da faixa adequada para essências florestais, de 3 a 12 g kg⁻¹ de Ca e de 1,5 a 5,0 g kg⁻¹ de Mg (Malavolta et al., 1997). Estes teores de Ca e de Mg foram supridos via aplicação de calcário dolomítico para fornecimento desses materiais pelo método da saturação por bases para 55%, considerados suficientes para suprir as necessidades das plantas nessa fase.

O teor foliar de Ca encontrado no tratamento com aplicação de 100 % de AM está abaixo do teor encontrado por Venturin et al. (1999) para *Peltophorum dubium* (4,6 g kg⁻¹) em Latossolo Amarelo com adubação completa (150 mg N, 275 mg P₂O₅, e 90 mg K₂O, por kg de solo), por Sorreano et al. (2011) para *Croton urucurana* (15,8 g kg⁻¹) e por Barroso et al. (2005) em plantas de *Tectona grandis* L.f. (teca) (10,55 g kg⁻¹).

Quanto ao macronutriente S, o teor do controle diferiu dos teores encontrados nos tratamentos das combinações de AM e AO (Tabela 2). No tratamento 100% AM, o teor de S observado na parte aérea do *Dalbergia miscolobium* ficou acima da faixa adequada. No tratamento controle, o teor deste nutriente ficou abaixo do valor da faixa adequada, de 1,4 a 1,6 g kg⁻¹ (Malavolta et al., 1997). Provavelmente, essa diferença é decorrente do aumento do S pelo uso de sulfato de amônio como fonte de N, equivalendo a uma quantidade de 27,5 mg de S dm⁻³ de rejeito, enquanto o controle não recebeu qualquer complementação.

O teor de S no tratamento 100% AM foi superior ao obtido por Duboc et al. (1996), de 0,65 g kg⁻¹, avaliando o teor de nutrientes na matéria seca da parte aérea de plantas de *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (jatobá) com a aplicação de 30 mg dm⁻³ de S no solo. O teor de S na parte aérea do *Dalbergia miscolobium* está próximo aos relatados por Marques et al. (2004) em plantas de *S. amazonicum*, que obtiveram valores entre 2,7 e

2,2 g kg⁻¹ com aplicação de 120 mg L⁻¹ de S em solução nutritiva, e por Viégas et al. (2002) em mudas de *Annona muricata*, que mencionam 2,3 g kg⁻¹.

Os teores de micronutrientes no controle, de modo geral, são ligeiramente inferiores aos teores observados na parte aérea de *Dalbergia miscolobium* na melhor combinação de AM e AO (Tabela 2). No entanto, todos os micronutrientes no controle, exceto, Cu, Zn e B, estavam dentro da faixa adequada para essências florestais nativas preconizada por Malavolta et al. (1997).

Os teores encontrados para Cu, Fe e B, na parte aérea de plantas da espécie, na melhor combinação de AM e AO, estão dentro da faixa de variação considerada adequada, entre 10 e 70 mg kg⁻¹ para o Cu, de 25 a 200 mg kg⁻¹ para o Fe, e de 10 a 70 mg kg⁻¹ para o B, determinados para espécies florestais (Malavolta et al., 1997). O teor adequado desses micronutrientes na parte aérea de *Dalbergia miscolobium* também explica o seu maior crescimento no tratamento 100% AM-0% AO, 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 das plantas (Kirkby & Römheld, 2007). Enquanto o Cu atua em diversos processos fisiológicos, o Zn atua nos processos metabólicos das plantas, o B atua na dominância das gemas apicais e crescimento das plantas e o Fe está presente na constituição das enzimas (Kirkby & Römheld, 2007).

A ordem relativa da concentração de macro e micronutrientes na parte aérea de *Dalbergia miscolobium* foi N > K > Ca > S > P > Mg > Mn > Fe > Cu > B > Zn (Tabela 2). A maior concentração de N nas folhas também foi registrada em mudas de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. (angico-amarelo) (Venturin et al., 1999), *Tectona grandis* L.f. (teca) (Barroso et al., 2005), *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (jatobá) (Duboc et al., 1996) e *Schizolobium amazonicum* Herb. (paricá) (Marques et al., 2004). Verificou-se nesta pesquisa efeito significativo (P<0,05) para acumulação de todos os macronutrientes e micronutrientes na parte aérea de *Dalbergia miscolobium* em função da proporção de AM nos tratamentos (Tabela 3).

Verifica-se que os valores de nutrientes acumulados pelas plantas de *Dalbergia miscolobium* no controle foram sempre inferiores quando comparados aos valores do tratamento com maior crescimento (100% AM) (Tabela 3). Isso se deve, de modo geral, a menor produção de massa seca da parte aérea no controle (Tabela

2). Obviamente, esse resultado está relacionado com a adição de adubos minerais, ou seja, no controle havia uma menor disponibilidade de nutrientes para absorção e, conseqüentemente, acúmulo nos tecidos vegetais. Os valores acumulados para os macronutrientes na parte aérea apresentaram a seguinte ordem de acúmulo: N > K > Ca > S > P > Mg. Dentre os micronutrientes, na parte aérea, a ordem decrescente das quantidades acumuladas ocorreu para Mn > Fe > Cu > B > Zn (Tabela 3).

Não existe informação detalhada quanto ao acúmulo de nutrientes por *Dalbergia miscolobium* em áreas degradadas pela extração de quartzito. As quantidades de nutrientes alocadas 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 & Davide, 2001).

Tabela 3. Equações de regressão ajustadas para o acúmulo de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea de mudas de *Dalbergia miscolobium* (jacarandá do cerrado) em função da porcentagem de adubação mineral (x) aplicada em rejeito da mineração de quartzito, acúmulo máximo (AM) de nutrientes e no controle, num período de 125 dias.

Nutriente ⁽¹⁾	Equação de Regressão	R ²	AM ⁽²⁾	Controle ⁽³⁾
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. (1) Macronutrientes, em mg planta⁻¹, e micronutrientes, em mg planta⁻¹. (2) Acúmulo máximo na aplicação de 100% AM. (3) * Diferencia do controle dos demais tratamentos pelo teste F a 5%.

Conclusão

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

Houve resposta das mudas de jacarandá do cerrado à adubação mineral com as doses recomendadas de 25 mg N, 25 mg P₂O₅, 20 mg K₂O por dm³ de rejeito da mineração de quartzito.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de mestrado. À Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri, pela infraestrutura necessária para a 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, MG: CFSEMG, 1999. p. 43-60.
- BACCI, D. L. C.; LANDIM, P. M. B.; ESTON, S. M. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. **Rem: Revista Escola de Minas, Ouro Preto**, v. 59, n. 1, p. 47-54, 2006.
- 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, MG, 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, MG, 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. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 332-341.
- 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.
- CLASSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 1).
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Adubação orgânica. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, MG, 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, MG, 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.
- 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, MG, v. 15, n. 1, p. 11-22, 1991.
- 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.
- 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.
- 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, DF, 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.; 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. (Ed.). **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.
- MAGALHÃES, 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. 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 statistical methods**. New York: Mc Graw-Hill Book CO, 1967. 415 p.
- MUNIZ, A. S.; SILVA, M. A. G. Exigências nutricionais de mudas de peroba rosa (*Aspidosperma polyneuron*) em solução nutritiva. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 19, n. 2, p. 263-271, 1995.
- NICOLOSO, F. T.; FOGAÇA, M. A. F.; ZANCHETTI, 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, MG, v. 26, n. 2, p. 173-182, 2002.
- SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2009. 627 p.
- SILVA, M. A. G.; MUNIZ, A. S. Exigências nutricionais de mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Velloso) em solução nutritiva. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, 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, MG, 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, DF, 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.

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.

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.

