

# INFLUÊNCIA DO NITROGÊNIO MINERAL NO CRESCIMENTO E COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA DE MUDAS DE ÁRVORES<sup>1</sup>

ELIANE GUIMARÃES PEREIRA<sup>2</sup>, JOSÉ OSWALDO SIQUEIRA,  
FABIANO RIBEIRO DO VALE e FÁTIMA MARIA SOUZA MOREIRA<sup>3</sup>

**RESUMO** - Avaliou-se a resposta do fedegoso (*Senna macranthera*), cássia-verrugosa (*Senna multijuga*), cinamomo (*Melia azedarach*) e jacarandá-mimoso (*Jacaranda mimosaeifolia*) à adição de N-mineral. Mudanças com e sem pré-colonização com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) foram transferidas para cultura de areia contendo solução nutritiva com diferentes formas de N-mineral e deixadas a crescer por 120 dias. O experimento constou de um fatorial, com quatro repetições, sendo com e sem pré-colonização com FMAs combinados com adição de 4 mM de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, e sem N. Verificou-se resposta em crescimento a N em todas as espécies, sendo que o N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> mostrou-se superior ao N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. A altura das plantas adubadas com N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foi 13, 12, 5 e 4 vezes maior, em relação às plantas sem N, nas mudas de fedegoso, cássia-verrugosa, cinamomo e jacarandá, respectivamente. A colonização micorrízica foi menor em todas as espécies adubadas com N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> do que nas adubadas com N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Plantas com N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> acumularam maior quantidade de Ca e K que as adubadas com N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. A atividade da redutase do nitrato só foi detectada em raízes do cinamomo e jacarandá, com N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ou N-NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>. Foram discutidas as implicações destes resultados para o reflorestamento com essências nativas em solos de baixa fertilidade.

Termos para indexação: árvores nativas, nutrição nitrogenada, mata ciliar, reflorestamento, micorriza.

## INFLUENCE OF MINERAL NITROGEN ON GROWTH AND MYCORRHIZAL COLONIZATION OF TREE SEEDLINGS

**ABSTRACT** - Growth responses of "fedegoso" (*Senna macranthera*), "cássia-verrugosa" (*Senna multijuga*), cinnamon (*Melia azedarach* L.) and "jacarandá-mimoso" (*Jacaranda mimosaeifolia*) to N supply and forms of N were studied. Arbuscular mycorrhizal (AM) and non-mycorrhizal seedlings were transferred to sand culture containing different N sources at concentration of 4 mM, and allowed to grow for 120 days. The experiment was set up as a factorial with four replications, being with and without AM colonization and N-treatments (no N, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and N-NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>). It was found that all plant species exhibited positive growth response to N supply. Plants treated with N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> grew much better than those with the same amount of N as N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Plant height, for instance, was 13, 12, 5 and 4 fold bigger in N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> treated plants than those with no N added to nutrient solution for "fedegoso", "cássia verrugosa", cinnamon and "jacarandá", respectively. AM colonization was reduced in N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> treated plants when compared to those treated with N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. In addition, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> plants accumulated more Ca and K than those fed with N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Nitrate reductase activity was found only on cinnamon and jacarandá roots treated with either N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> or N-NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>. Implication of these results for reforestation in low-fertility soils is discussed.

Index terms: native trees, nitrogen nutrition, riparian woodlands, reforestation, mycorrhizae.

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 27 de maio de 1996.

Trabalho financiado pela CEMIG e FAPEMIG.

<sup>2</sup> Eng<sup>a</sup> Agr<sup>a</sup>, M.Sc., Dep. de Ciência do Solo, UFLA, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras, MG. Bolsista do CNPq.

<sup>3</sup> Eng. Agr., Ph.D., Dep. de Ciência do Solo, UFLA. Bolsista do CNPq.

## INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é requerido pelos organismos em maior quantidade do que o fósforo (P); seu grau de disponibilidade frequentemente limita o crescimento das plantas. Na grande maioria das espécies

cultivadas, sobretudo nas de clima temperado e de ciclo anual, o metabolismo do N, desde as formas preferenciais de absorção até sua assimilação e transporte na planta, tem sido satisfatoriamente estudado (Blevins, 1989). Entretanto, o mesmo não se verifica no tocante às espécies não-cultivadas, especialmente nas arbóreas tropicais, sobre as quais praticamente inexistem estudos.

Embora a maioria dos trabalhos mostrem a preferência de espécies arbóreas por  $N-NH_4^+$ , por causa do baixo pH e da reduzida nitrificação, alguns autores indicam preferência a  $N-NO_3^-$  por algumas espécies arbóreas pioneiras (Stewart et al., 1988). Stewart et al. (1993) verificaram que em ecossistemas florestais, após uma seqüência de queimadas, as plantas herbáceas, independentemente de sua condição micorrízica, apresentam alta capacidade de reduzir o  $N-NO_3^-$ , enquanto espécies arbóreas micorrízicas exibem pequena capacidade de reduzir o nitrato nas raízes e na parte aérea. Isto indica que este último grupo utiliza  $N-NH_4^+$  ou alguma forma de N orgânico de preferência ao  $N-NO_3^-$ . A preferência por  $N-NH_4^+$  foi também constatada por Goi et al. (1992), pela *Acacia auriculiformis*, que na presença desta forma de N apresentou aumento do peso de matéria seca e na fixação de  $N_2$ , enquanto as espécies arbóreas com  $N-NO_3^-$  tiveram a nodulação inibida.

Embora diversos especialistas preconizem a micorrização como maneira de facilitar o crescimento de espécies florestais em programas de reflorestamento (Janos, 1980; Brundrett & Abbott, 1992; Herrera et al., 1993; Siqueira et al., 1994), nenhum deles relaciona os efeitos dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) na absorção de N inorgânico do solo, embora as micorrizas sejam consideradas importantes componentes das raízes para a absorção de N, especialmente em espécies de leguminosas não-nodulíferas, conforme discutido por Sprent (1994). Pereira et al. (1995) verificaram que na fase de crescimento inicial algumas espécies arbóreas nativas só responderam à adição de N ao solo quando eram colonizadas por FMAs.

Há escassez de informações sobre as exigências e preferências a formas de N por espécies arbóreas nativas de interesse para reflorestamento no sudeste brasileiro.

No presente estudo avaliaram-se os efeitos do fornecimento e formas de N-mineral e micorrização no crescimento inicial de quatro espécies pioneiras: fedegoso (*Senna macranthera* (Collad.) I. & B.), cássia-verrugosa (*Senna multijuga* (L. C. Rich) I. & B.), cinamomo (*Melia azedarach* (L.) e jacarandá-mimoso (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don).

## MATERIAL E MÉTODOS

As sementes de cássia, fedegoso, cinamomo e jacarandá, obtidas do Laboratório de Sementes Florestais da Universidade Federal de Lavras - UFLA -, Lavras, MG, foram pré-germinadas em vermiculita autoclavada, e repicadas para bandejas de poliestireno expandido, para produção de mudas. As bandejas continham substrato composto por 20% de torta de filtro de usina de cana-de-açúcar, 40% de casca de arroz carbonizada, 25% de solo e 15% de vermiculita, mais 2,5 kg de superfosfato simples/ $m^3$  de substrato. Para garantir a micorrização de parte das mudas, parte do substrato foi infestado com propágulos dos fungos micorrízicos *Glomus etunicatum* Becker & Gerdemann e *Gigaspora margarita* Becker & Hall na base de cinco esporos/ml de substrato. O substrato não infestado com fungos micorrízicos recebeu filtrado de inóculo micorrízico isento de propágulos destes fungos, visando equilibrar a microbiota entre os substratos com ou sem infestação. Aos 100 dias de idade, as mudas foram transplantadas para vasos contendo 3 kg de areia lavada, as quais receberam 1.000 ml de solução nutritiva (Tabela 1) contendo nutrientes e os tratamentos de N (Guazzelli, 1988).

**TABELA 1. Composição e concentração dos nutrientes (mM) utilizados na solução nutritiva<sup>1</sup>.**

Nutrientes	Tratamentos			
	Sem N	$NO_3^-$	$NH_4^+$	$NH_4NO_3$
$N-NO_3^-$	0,0	4,0	0,0	2,0
$N-NH_4^+$	0,0	0,0	4,0	2,0
P	0,5	0,5	0,5	0,5
K	0,5	1,9	0,5	1,2
Ca	1,2	2,6	1,2	1,2
Mg	0,5	1,0	0,5	0,5
S	1,7	1,0	5,7	1,7

<sup>1</sup> Concentrações de micronutrientes foram ( $\mu g/ml$ ): B = 0,40; Cu = 0,016; Fe = 2,0; Mn = 0,40; Zn = 0,04 e Mo = 0,008. Os sais que forneceram os macronutrientes foram:  $NH_4NO_3$  M;  $(NH_4)_2SO_4$  M;  $KH_2PO_4$  M;  $MgSO_4$  0,5 M;  $CaSO_4$  0,01 M;  $KNO_3$  M; e  $Ca(NO_3)_2$  M.

O experimento constou de um fatorial, com quatro repetições em delineamento experimental inteiramente casualizado, com presença e ausência de pré-colonização com fungos micorrízicos e quatro tratamentos de N (4 mM) (sem N; 100% N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 100% N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; e N-NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, sendo 50% N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e 50% de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

Cada vaso foi colocado sobre um prato, para coletar o volume excedente de solução nutritiva, sendo o volume dos vasos completado com água destilada, diariamente. A solução nutritiva dos vasos foi trocada a cada quinze dias; os vasos foram lavados com água destilada, antes da adição da nova solução, para evitar salinização da areia. Aos 120 dias após o transplantio, as plantas foram colhidas, e o crescimento foi avaliado pela altura, produção de matéria da parte aérea e raízes secas, e foi calculada a relação raiz/parte aérea. Para a avaliação da colonização, foram retiradas amostras de 1 g de raízes finas de cada planta. As amostras foram clarificadas com KOH 10% e coloridas com azul de tripano e a colonização determinada sob microscópio estereoscópio (aumento de 40x), pelo aumento da placa quadriculada (Giovannetti & Mosse, 1980).

Os teores de nutrientes na matéria da parte aérea seca foram analisados da seguinte forma: N, pelo método semimicro-Kjedahl (Liao, 1981), e a destilação e titulação, segundo Bremner & Edwards (1965). No extrato obtido por digestão nitroperclórica segundo Zarosky & Burau (1977), foram dosados os teores de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica; P, por colorimetria; e K, por fotometria de chama (Blanchar et al., 1965). As quantidades de nutrientes acumuladas na parte aérea das plantas foram calculadas com base nos teores e na produção de matéria seca. A atividade da redutase do nitrato "in vivo" foi avaliada nas raízes das quatro espécies, segundo o método de Meguro & Magalhães (1983).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e ao teste de médias pelo programa estatístico SANEST.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Crescimento das plantas e colonização micorrízica

O crescimento das plantas foi influenciado pelo fornecimento e pelas formas de N-mineral. No tratamento sem N, a produção de matéria total seca foi severamente reduzida nas quatro espécies (Fig. 1). Na cássia-verrugosa, fedegoso e jacarandá (Fig. 1a, b e d), a matéria total seca foi maior no tratamento com N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> enquanto no cinamomo (Fig. 1c)

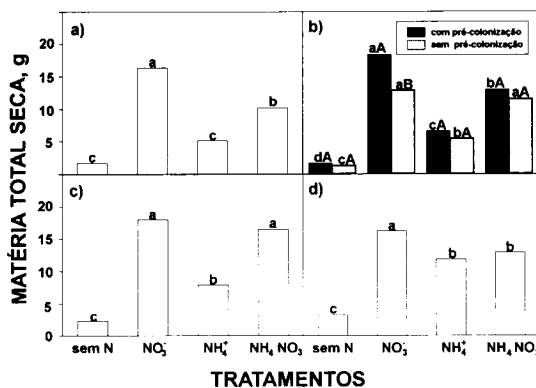


FIG.1. Matéria total seca de cássia-verrugosa (a), fedegoso (b), cinamomo (c) e jacarandá (d) sob o efeito do fornecimento de N. Letras minúsculas comparam os tratamentos de N, e maiúsculas, a pré-colonização das mudas, pelo teste de Tuckey a 5%.

N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foi superior a N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e sem N, mas não houve diferença entre os tratamentos com N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>. Na cássia-verrugosa, a produção foi menor no tratamento N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> em relação aos tratamentos com N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, possivelmente devido a um efeito tóxico desta forma de N (Goyal & Huffaker, 1984). Não houve interação entre as formas de N e a micorrização para a produção de matéria total seca, com exceção do fedegoso, que apresentou efeito positivo na micorrização, no tratamento com N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Fig. 1b). Respostas em crescimento à aplicação de N já foram relatadas com relação a outras espécies arbóreas (Simão & Couto, 1973; Mohan et al., 1990; Dias & Faria, 1992; Renó, 1994).

A matéria da parte aérea seca foi maior, em todas as espécies, nos tratamentos que receberam N (Tabela 2). No fedegoso, cássia-verrugosa e cinamomo, o tratamento com N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foi superior ao tratamento com N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, enquanto no jacarandá não houve diferença entre as formas de N. Esta característica foi influenciada positivamente pela micorrização no fedegoso, como também verificado na matéria total seca (Fig. 1b). A matéria seca das raízes foi também maior nos tratamentos com N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em relação ao tratamento com N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no cinamomo e jacarandá, e na cássia-verrugosa e no fedegoso com N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e em plantas com N-NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>

micorrizadas. A micorrização teve efeito positivo ( $p < 0,05$ ) na altura das plantas apenas no caso da cássia-verrugosa. No cinamomo, esta característica não diferiu entre os tratamentos de N. No fedegoso e cássia-verrugosa, o tratamento com  $N-NO_3^-$  mostrou-se superior ao tratamento com  $N-NH_4^+$ , enquanto no jacarandá não houve diferença entre estas duas formas de N. O diâmetro do caule também foi influenciado positivamente pelo fornecimento de N, em todas as espécies.

A relação entre a produção de matéria de raízes e da parte aérea seca apresentou menor valor no tratamento sem N no cinamomo, enquanto na cássia-verrugosa este tratamento apresentou maior valor (Tabela 2). A limitação do suprimento de nutriente torna as raízes o principal dreno de fotossintatos, o que favorece seu crescimento em relação à parte aérea (Marschner, 1991), e, conseqüentemente, o aumento da relação, como observado na cássia-verrugosa. Aumentos significativos nesta relação também foram verificados em outras espécies arbóreas, quando deficientes em N (Renó, 1994).

A colonização micorrízica variou entre os tratamentos nas diversas espécies estudadas (Fig. 2). Na cássia-verrugosa os valores mais baixos foram veri-

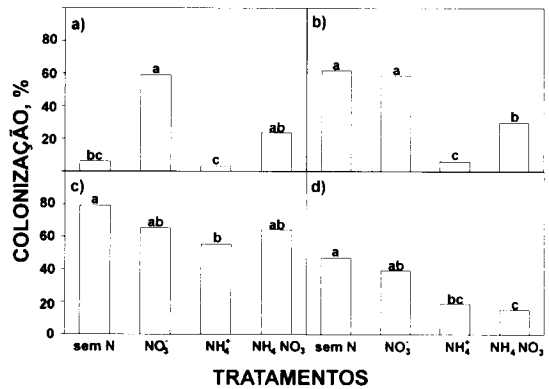


FIG. 2. Colonização micorrízica da cássia-verrugosa (a), fedegoso (b), cinamomo (c) e jacarandá (d) sob a influência de formas de N-mineral. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tuckey a 5%.

TABELA 2. Crescimento das espécies estudadas sob influência de N e pré-colonização com fungos micorrízico-arbusculares<sup>1</sup>.

Parâmetro	Pré-colonização	Fornecimento de nitrogênio				Média
		sem N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	
Cássia verrugosa						
Matéria da parte aérea seca (g)	Sim	0,70	9,06	1,67	5,24	4,17
	Não	0,58	8,01	1,40	3,97	3,49
	Média	0,64 c	8,54 a	1,53 c	4,60 b	
Matéria seca da raiz (g)	Sim	1,06 Ab	7,43 Aa	2,40 Ab	7,19 Aa	4,52
	Não	0,98 Ac	8,12 Aa	1,86 Abc	3,88 Bb	3,71
	Média	1,02	7,78	2,13	5,54	
Relação raiz/parte aérea	Sim	1,55	0,83	1,42	1,62	1,35
	Não	1,67	1,01	1,32	1,08	1,27
	Média	1,61 a	0,92 b	1,37 ab	1,35 ab	
Altura (cm)	Sim	25,00	65,00	40,25	65,25	49,00 A
	Não	20,25	51,00	33,75	52,00	39,25 B
	Média	22,62 c	58,25 a	37,00 b	58,62 a	
Fedegoso						
Matéria seca da parte aérea (g)	Sim	0,90	10,92	3,65	6,11	5,40 A
	Não	0,56	8,02	2,64	5,59	4,20 B
	Média	0,73 d	9,47 a	3,14 c	5,85 b	
Matéria seca da raiz (g)	Sim	0,72 Ac	7,47 Aa	2,95 Ab	6,88 Aa	4,51
	Não	0,68 Ac	4,85 Ba	2,76 Bb	5,93 Ba	3,55
	Média	0,70	6,15	2,86	6,41	

Continua...

TABELA 2. Continuação...

Parâmetro	Pré-colonização	Fornecimento de nitrogênio				Média
		sem N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	
Relação raiz/ parte aérea	Sim	0,87	0,68	0,84	1,15	0,89
	Não	1,28	0,62	1,09	1,09	1,02
	Média	1,08 a	0,65 b	0,96 ab	1,12 a	
Altura (cm)	Sim	26,00	54,75	27,50	46,00	38,56
	Não	24,75	38,75	34,75	30,25	32,12
	Média	25,38 b	46,75 a	31,12 b	38,12 ab	
Cinamomo						
Matéria seca da parte aérea (g)	Sim	0,99	4,87	2,42	5,78	3,52
	Não	0,88	6,26	2,28	4,77	3,54
	Média	0,93 c	5,56 a	2,35 b	5,28 a	
Matéria seca da raiz (g)	Sim	1,30	12,68	6,15	12,17	8,08
	Não	1,53	12,17	4,99	10,37	7,27
	Média	1,42 c	12,42 a	5,57 b	11,28 a	
Relação raiz/ parte aérea	Sim	1,34	2,63	2,61	2,12	2,18
	Não	1,74	2,04	2,27	2,19	2,06
	Média	1,54 b	2,34 a	2,44 a	2,15 a	
Altura (cm)	Sim	27,75	30,00	28,75	30,50	29,25
	Não	29,50	35,25	29,50	30,50	31,19
	Média	28,62	32,62	29,12	30,50	
Jacarandá						
Matéria seca da parte aérea (g)	Sim	1,95 Ab	7,20 Aa	6,69 Aa	5,12 Ba	5,23
	Não	1,70 Ab	7,72 Aa	6,62 Aa	8,57 Aa	6,15
	Média	1,82	7,46	6,66	6,84	
Matéria seca da raiz (g)	Sim	1,82	8,70	5,66	7,15	5,83
	Não	1,04	8,83	4,64	6,68	5,30
	Média	1,44 c	8,77 a	5,15 b	6,92 b	
Relação raiz/ parte aérea	Sim	0,95	1,22	0,83	1,42	1,10 A
	Não	0,60	1,22	0,71	0,79	0,83 B
	Média	0,78 b	1,22 a	0,77 b	1,10 a	
Altura (cm)	Sim	25,25	30,25	28,00	31,50	28,75
	Não	28,50	28,75	29,75	34,00	30,25
	Média	26,88 b	29,50 ab	28,88 ab	32,75 a	

<sup>1</sup>Médias seguidas de mesma letra minúscula (linha) e maiúscula (coluna) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

ficados nos tratamentos sem N e com N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, sendo que no tratamento com N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a colonização foi elevada: em torno de 60%. Quanto ao fedegoso, no tratamento com N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> as raízes também apresentaram baixa colonização, mas, ao contrário da cássia, o tratamento sem N não diferiu do tratamento com N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. No cinamomo, apesar de a colonização ter sido mais baixa no N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> do que no tratamento sem N, ela ainda era elevada, em comparação com o que se verificou neste tratamento, com as outras espécies. No jacarandá, a colonização foi mais baixa, em

comparação com as outras espécies, sendo menores nos tratamentos com N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>. Resultados semelhantes quanto a efeitos do N na colonização micorrízica são relatados em outros estudos (Chambers et al., 1980; Baath & Spokes, 1989; Vaast & Zaroski, 1992), o que confirma que a colonização das raízes pelos fungos micorrízicos arbusculares é reduzida na presença de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Assim, em condições nutricionais sub-ótimas para o crescimento destas espécies, bem como das encontradas em solos de baixa fertilidade, onde a colonização micorrízica

seria importante para o crescimento das espécies arbóreas (Janos, 1980), via melhoria da nutrição fosfatada (Siqueira, 1994), o fornecimento de N na forma amoniacal poderá ter um impacto negativo adicional via redução da colonização. Deve-se ressaltar, ainda, que  $N-NH_4^+$  pode apresentar elevada toxicidade às plantas (Goyal & Huffaker, 1984).

### Atividade da redutase do nitrato (RN)

A atividade da RN foi avaliada em todas as espécies, porém só detectada nas raízes do cinamomo e do jacarandá nos tratamentos com  $N-NO_3^-$  e  $N-NH_4NO_3$  (Fig. 3). Pouco se conhece sobre o metabolismo do N em espécies arbóreas nativas (Sprent, 1994), mas sabe-se que em espécies cultivadas o suprimento de  $N-NO_3^-$  resulta em grande aumento no nível desta enzima, enquanto o amônio a inibe (Beevers & Hageman, 1969). Stewart et al. (1993) verificaram níveis muito baixos de RN em espécies nativas da Austrália, mas mesmo assim não pode ser descartada a possibilidade destas espécies em utilizarem  $N-NO_3^-$  (Sprent, 1994). Os baixos valores

de atividade da RN verificados no presente estudo são também relatados em outras espécies arbóreas micorrízicas (Sprent, 1994). Esta baixa atividade da RN pode ser atribuída ao fato de a medição da atividade da RN ter sido realizada 15 dias depois da troca da solução nutritiva, quando quase todo o  $N-NO_3^-$  aplicado, que atuaria como indutor da RN, já havia sido absorvido e assimilado, e a atividade enzimática, reprimida (Blevins, 1989). Verificou-se que a micorrização no jacarandá aumentou a atividade da RN no tratamento com  $N-NO_3^-$ ; e isto pode ter contribuído, com esta fonte, para melhor crescimento das plantas. No tratamento com  $N-NH_4NO_3$  verificou-se efeito contrário.

### Teores e acúmulo de nutrientes

Os teores de nutrientes na matéria da parte aérea seca encontram-se na Tabela 3. Os teores de N foram aumentados pelo fornecimento deste nutriente, em todas as espécies, independentemente da forma de N aplicado e da condição micorrízica das mudas. As mudas de cássia-verrugosa e fedegoso supridas com  $N-NH_4^+$  apresentaram teores mais elevados de N do que as supridas com  $N-NO_3^-$ ; fato não verificado no cinamomo e jacarandá. A micorrização das mudas influenciou negativamente os teores deste elemento na cássia-verrugosa e fedegoso, e não teve efeito nas outras duas espécies. Verificaram-se respostas bem diferentes em relação à quantidade de N acumulada (Tabela 4): plantas com  $N-NO_3^-$  acumularam mais N que as demais, sendo o efeito da micorrização observado apenas em cinamomo e jacarandá. Estas respostas podem resultar de comportamento diferenciado das espécies em relação às formas de N, e também de efeitos de diluição ou concentração do nutriente nos tecidos, em função do crescimento das espécies (Jarrel & Beverly, 1981).

Os teores e acúmulo de K e Ca foram maiores em todas as espécies crescidas em  $N-NO_3^-$ ; que naquelas sem N ou com outras formas deste nutriente (Tabelas 3 e 4), fato, este, bem documentado na literatura (Hageman, 1984). Apenas o acúmulo de K foi influenciado pela micorrização no cinamomo, sendo menor nas plantas micorrizadas, no tratamento com  $N-NO_3^-$  (Tabela 4). Igualmente o acúmulo de Ca

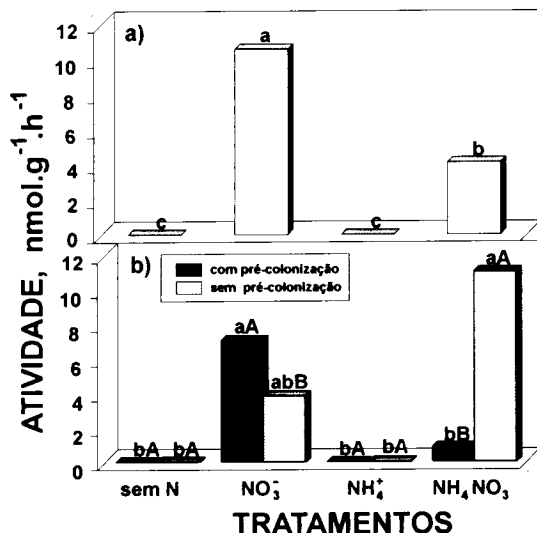


FIG.3. Atividade da redutase do nitrato (RN) em raízes do cinamomo (a) e jacarandá (b) sob influência do fornecimento de N-mineral e micorrização. Letras minúsculas comparam os tratamentos de N, e maiúsculas, a pré-colonização, pelo teste de Tuckey a 5%.

**TABELA 3. Teores de nutrientes (g.kg<sup>-1</sup>) na parte aérea das espécies estudadas sob influência de N e pré-colonização com fungos micorrízico-arbusculares<sup>1</sup>.**

Nutrientes	Pré-colonização	Tratamentos				Média
		Sem N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> NH <sub>4</sub>	
<b>Cássia verrugosa</b>						
N	Sim	10,2	23,2	34,6	23,9	22,8 B
	Não	9,5	27,4	42,5	26,7	26,5 A
	Média	9,8 c	24,9 b	38,5 a	25,3 b	
K	Sim	7,4	17,4	5,7	7,2	9,4 B
	Não	7,9	18,4	6,1	9,4	10,5 A
	Média	7,6 b	17,9 a	5,9 c	8,3 b	
Ca	Sim	13,6 Aa	15,4 Ba	5,5 Ab	12,7 Aa	11,8
	Não	11,1 Bb	20,4 Aa	7,0 Ac	13,0 Aa	12,9
	Média	12,4	17,9	6,2	12,8	
Mg	Sim	1,1	2,4	1,9	2,3	1,9 B
	Não	1,0	2,6	2,5	2,9	2,2 A
	Média	1,1 b	2,5 a	2,2 a	2,6 a	
<b>Fedegoso</b>						
N	Sim	7,5	23,1	29,6	27,4	21,9 B
	Não	7,2	24,7	33,7	32,0	24,4 A
	Média	7,4 c	23,9 b	31,6 a	29,7 a	
K	Sim	11,0	27,6	12,4	12,3	15,8
	Não	12,7	33,3	12,8	12,8	17,9
	Média	11,9 b	30,4 a	12,6 b	12,6 b	
Ca	Sim	10,6	18,0	5,2	11,3	11,3
	Não	9,4	22,8	6,5	11,9	12,6
	Média	10,0 bc	20,4 a	5,9 c	11,6 b	
Mg	Sim	1,5 Ab	2,1 Aab	2,2 Bab	2,6 Aa	2,1
	Não	1,0 Ab	2,2 Aa	2,8 Aa	2,3 Aa	2,1
	Média	1,3	2,2	2,5	2,4	
<b>Cinamomo</b>						
N	Sim	10,8	27,2	23,8	26,2	22,0
	Não	8,5	26,1	24,9	27,6	21,8
	Média	9,6 b	26,7 a	24,4 a	26,9 a	
K	Sim	9,3	15,0	4,6	6,4	8,8 B
	Não	9,5	18,7	8,0	7,5	10,9 A
	Média	9,4 b	16,8 a	6,3 c	7,0 c	
Ca	Sim	11,6	17,6	2,8	12,4	11,1
	Não	11,2	19,4	3,6	10,5	11,2
	Média	11,4 b	18,4 a	3,2 c	11,5 b	
Mg	Sim	1,7	2,1	1,2	2,6	1,9
	Não	1,5	2,4	1,4	2,6	2,0
	Média	1,6 b	2,3 a	1,3 b	2,6 a	
<b>Jacarandá</b>						
N	Sim	7,2	17,9	21,4	20,2	16,7
	Não	7,5	19,7	20,2	25,1	18,1
	Média	7,3 c	18,8 b	20,8 ab	22,6 a	
K	Sim	5,0	12,9	3,3	7,7	7,2
	Não	5,7	13,4	4,0	7,8	7,7
	Média	5,4 c	13,1 a	3,6 c	7,8 b	
Ca	Sim	6,1	6,4	3,2	5,0	5,2
	Não	6,2	6,1	2,8	5,8	5,2
	Média	6,1 a	6,3 a	3,0 b	5,4 a	
Mg	Sim	2,3	1,9	1,4	2,2	1,9
	Não	2,5	1,9	1,3	2,4	2,0
	Média	2,4 a	1,9 b	1,3 c	2,3 a	

<sup>1</sup>Médias seguidas de mesma letra minúscula (linha) e maiúscula (coluna) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**TABELA 4. Acúmulo de nutrientes (mg.planta<sup>-1</sup>) na parte aérea das espécies estudadas sob influência de N e pré-colonização com fungos micorrízico-arbusculares<sup>1</sup>.**

Nutrientes	Pré-colonização	Tratamentos				Média
		Sem N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> NH <sub>4</sub>	
<b>Cássia verrugosa</b>						
N	Sim	7	204	57	124	98
	Não	6	220	57	112	99
	Média	6 c	212 a	57 c	118 b	
K	Sim	5	157	10	38	52
	Não	5	147	8	39	50
	Média	5 c	152 a	9 c	38 b	
Ca	Sim	10	140	9	69	57
	Não	6	162	10	51	57
	Média	8 c	151 a	10 c	60 b	
Mg	Sim	1	22	3	12	10
	Não	1	21	3	12	10
	Média	1 c	22 a	3 c	12 b	
<b>Fedegoso</b>						
N	Sim	7	255	106	168	134
	Não	4	200	92	177	118
	Média	6 d	227 a	99 c	173 b	
K	Sim	10	297	39	76	106
	Não	6	273	35	71	96
	Média	8 c	285 a	37 bc	73 b	
Ca	Sim	10	192	19	70	73
	Não	5	188	18	67	70
	Média	7 c	190 a	18 c	68 b	
Mg	Sim	1	24	16	16	14
	Não	1	18	8	13	10
	Média	1 b	21 a	12 a	14 a	
<b>Cinamomo</b>						
N	Sim	11 Ac	133 Ba	57 Ab	155 Aa	84
	Não	7 Ac	161 Aa	56 Ab	132 Ba	89
	Média	9	147	56	144	
K	Sim	9 Ab	75 Ba	11 Ab	44 Aab	35
	Não	8 Ab	119 Aa	15 Ab	36 Ab	44
	Média	8	97	13	40	
Ca	Sim	11 Ac	88 Ba	7 Ab	72 Aa	44
	Não	10 Ac	119 Aa	8 Ac	50 Bb	46
	Média	10	104	8	61	
Mg	Sim	2 Ac	10 Bb	3 Ac	15 Aa	8
	Não	1 Ab	13 Aa	4 Ab	12 Ba	8
	Média	2	12	4	14	
<b>Jacarandá</b>						
N	Sim	19 Ab	132 Aa	142 Aa	104 Ba	100
	Não	13 Ac	152 Ab	134 Ab	211 Aa	128
	Média	16	142	138	158	
K	Sim	14	79	22	40	38
	Não	10	103	26	67	52
	Média	12 c	96 a	24 c	53 b	
Ca	Sim	16 Ab	47 Aa	22 Ab	26 Bb	28
	Não	11 Ab	47 Aa	18 Ab	49 Aa	31
	Média	14	47	20	38	
Mg	Sim	6 Ac	13 Aa	9 Abc	11 Bab	10
	Não	4 Ad	15 Ab	8 Ac	20 Aa	12
	Média	5	14	8	16	

<sup>1</sup>Médias seguidas de mesma letra minúscula (linha) e maiúscula (coluna) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



foi menor no cinamomo no tratamento com micorrizas e  $N-NO_3^-$ . O acúmulo de Mg seguiu a mesma tendência do Ca, porém os efeitos dos tratamentos foram bem menos acentuados, especialmente dentre as formas de N. Plantas de fedegoso com micorrizas apresentaram menores teores de Mg que as sem micorrizas no tratamento  $N-NH_4^+$ . A micorrização reduziu o acúmulo de Mg no cinamomo com  $N-NO_3^-$  e no jacarandá com  $N-NH_4NO_3$ . Já o acúmulo de Ca foi maior no tratamento  $N-NH_4NO_3$  sem micorriza, tanto no jacarandá como no cinamomo.

Todas as quatro espécies acumularam mais cátions quando foram nutridas com N na forma de  $N-NO_3^-$  do que quando receberam  $N-NH_4^+$ . Este é um fenômeno nutricional bastante conhecido, e está relacionado com maior competição entre cátions na absorção e com a necessidade de balanços de cargas na planta (Hageman, 1984).

## CONCLUSÕES

1. Na cultura em areia, as espécies estudadas são extremamente dependentes do suprimento de N-mineral.
2. Essas espécies crescem melhor quando o N é fornecido na forma de  $N-NO_3^-$ .
3. A micorrização das plantas durante a formação das mudas não influencia seu crescimento e sua resposta ao N-mineral, na cultura em areia.

## REFERÊNCIAS

- BAATH, E.; SPOKES, J. The effect of nitrogen and phosphorus on mycorrhizal growth and infection in *Allium schoenoprasum*. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.67, n.11, p.3227-3232, Nov. 1989.
- BEEVERS, L.; HAGEMAN, R.H. Nitrate reduction in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.20, p.495-522, 1969.
- BLANCHAR, R.W.; REHM, G.; CALDWELL, A.C. Sulfur in plant material digestion with nitric and perchloric acid. **Soil Science Society of America. Proceedings**, Madison, v.29, n.1, p.71-72, Jan. 1965.
- BLEVINS, D.G. An overview of nitrogen metabolism in higher plants. In: POULTON, J.E.; ROMEO, J.T.; CONN, E.E. (Eds.). **Plant nitrogen metabolism**. New York: Plenum Press, 1989. 474p.
- BREMNER, J.M.; EDWARDS, H.P. Determination and isotope ratio analyses of different forms of nitrogen in soils. I. Apparatus and procedures for distillation and determination for ammonium. **Soil Science Society of America. Proceedings**, Madison, v.29, n.5, p.504-507, Sept. 1965.
- BRUNDRETT, M.C.; ABBOTT, L.K. Roots of jarrah forest plants. I. Mycorrhizal associations of shrubs and herbaceous plants. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.68, n.3, p.551-578, Mar. 1992.
- CHAMBERS, C.A.; SMITH, S.E.; SMITH, F.A. Effects of ammonium and nitrate ions on mycorrhizal infection, nodulation and growth of *Trifolium subterraneum*. **The New Phytologist**, London, v.85, n.1, p.47-62, 1980.
- DIAS, L.E.; FARIA, S.M. Deficiências nutricionais em *Acacia mangium* Wild. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS. **Anais...** Piracicaba: SBCS, 1992. p.26-31.
- GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **The New Phytologist**, London, v.84, n.3, p.489-500, 1980.
- GOI, S.R.; SPRENT, J.I.; JAMES, E.K.; JACOB NETO, J. Influence of nitrogen form and concentration on the nitrogen fixation of *Acacia auriculiformis*. **Symbiosis**, Philadelphia, v.14, p.115-122, Mar. 1992.
- GOYAL, S.S.; HUFFAKER, R.C. Nitrogen toxicity in plants. In: HAUCK, R.D. (Ed.). **Nitrogen in crop production**. Madison: American Society of Agronomy, 1984. p.97-111.
- GUAZZELLI, E.M.F.M. Efeito do nitrato e amônio no crescimento, assimilação e eficiência de utilização do nitrogênio por cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) na fase inicial de crescimento. Lavras: ESAL, 1988. 112p. Dissertação de Mestrado.
- HAGEMAN, R.H. Ammonium versus nitrate nutrition of higher plants. In: HAUCK, R.D. (Ed.). **Nitrogen in crop production**. Madison: American Society of Agronomy, 1984. p.67-86.
- HERRERA, M.A.; SALAMANCA, C.P.; BAREA, J.M. Inoculation of woody legumes with selected arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia to recover desertified Mediterranean ecosystems. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.59, n.1, p.129-133, Jan. 1993.

- JANOS, D.P. Vesicular-arbuscular mycorrhizae affect lowland tropical rain forest plant growth. *Ecology*, Ithaca, v.61, n.1, p.151-162, Feb. 1980.
- JARREL, W.M.; BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy*, New York, v.34, p.197-224, 1981.
- LIAO, C.F.H. Devarda's alloy method for total nitrogen determination. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.45, n.5, p.852-855, Sep./Oct. 1981.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 4. ed. San Diego: Academic Press, 1991. 674p.
- MEGURO, N.E.; MAGALHÃES, A.C. Water stress affecting nitrate reduction and leaf diffusive resistance in *Coffea arabica* L. cultivars. *The Journal Horticultural Science*, Ashford, v.58, n.2, p.147-152, Apr. 1983.
- MOHAN, S.; PRASAD, K.G.; GUPTA, G.N. Fertilizer response to selected social forestry species under varying soil texture. *The Indian Forester*, New Delhi, v.116, n.1, p.49-57, Jan. 1990.
- PEREIRA, E.G.; SIQUEIRA, J.O.; VALE, F.R. do; CURI, N. Resposta de leguminosas arbóreas nativas da região Campos das Vertentes MG, ao nitrogênio mineral e fungo endomicorrízico. In: HUNGRIA, M.; BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S. (Eds.). *Microbiologia do solo: desafios para o século XXI*. Londrina: IAPAR, 1995. p.424-428.
- RENÓ, N.B. **Requerimentos nutricionais e resposta ao fósforo e fungo micorrízico de espécies arbóreas nativas do sudeste brasileiro**. Lavras: ESAL, 1994. 62p. Dissertação de Mestrado.
- SIMÃO, J.W.; COUTO, H.T.Z. do. Efeitos da omissão de nutrientes na alimentação mineral do pinheiro do Paraná *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze cultivado em vaso. *IPEF*, Piracicaba, v.4, n.7, p.3-40, 1973.
- SIQUEIRA, J.O. Micorrizas arbusculares. In: ARAÚJO, R.S.; HUNGRIA, M. (Eds.). **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília, DF: EMBRAPA, 1994. p.151-194.
- SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; GRISI, B.N.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília, DF: EMBRAPA, 1994. 142p.
- SPRENT, J.I. Nitrogen acquisition systems in the leguminosae. In: SPRENT, J.I.; McKEY, D. (Eds.). **Advances in legume systematics**. The Nitrogen Factor. Kew: The Royal Botanic Gardens, 1994. p.1-16.
- STEWART, G.R.; HEGART, E.E.; SPECHT, R.L. Inorganic nitrogen metabolism in plants of Australian rainforest communities. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v.74, n.1, p.26-33, Sept. 1988.
- STEWART, G.R.; PATE, J.S.; UNKOVICH, M. Characteristics of inorganic nitrogen assimilation of plants in fire-prone Mediterranean-type vegetation. *Plant, Cell and Environment*, Oxford, v.16, n.4, p.351-363, May 1993.
- VAAST, Ph.; ZAROSKY, R.J. Effects of VA-mycorrhizae and nitrogen sources on rhizosphere soil characteristics, growth and nutrient acquisition of coffee seedlings (*Coffea arabica* L.). *Plant and Soil*, The Hague, v.147, n.1, p.31-39, Nov. 1992.
- ZAROSKY, R.J.; BURAU, R.G. A rapid nitric perchloric acid digestion method for multi-element tissue analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.8, n.5, p.425-436, 1977.