

NUTRIÇÃO DE MUDAS DE ANGICO-VERMELHO (*Anadenanthera macrocarpa* (BENTH.) BRENAN) SUBMETIDAS A DOSES DE N, P, K, Ca E Mg¹

Elzimar de Oliveira Gonçalves², Haroldo Nogueira de Paiva³, Julio Cesar Lima Neves⁴ e José Mauro Gomes³

RESUMO – Neste trabalho, objetivou-se verificar o teor e conteúdo de N, P, K, Ca e Mg, bem como determinar o nível crítico desses nutrientes no solo e na planta. As mudas foram cultivadas, no período de dezembro de 2004 a maio de 2005, em vasos com capacidade para 2,1 dm³ contendo amostras de solo de três classes (Argissolo Vermelho-Amarelo AVA, Latossolo Vermelho-Amarelo Álico LVA e Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico – LVD). Os tratamentos foram delimitados segundo uma matriz baconiana, onde se variaram os macronutrientes, em três doses, e dois tratamentos adicionais (zero e referência), com quatro repetições. Verificou-se que, em geral, as mudas da espécie absorveram maior quantidade de N, P, K, Ca e Mg, à medida que a disponibilidade destes aumentava no solo. Tal fato refletiu em maior concentração dos nutrientes aplicados em todas as partes da planta. Entretanto, em alguns casos não houve resposta em crescimento correspondente a esse aumento. Os nutrientes que mais proporcionaram efeitos foram o P, o N e o S; poucas respostas foram observadas nos demais nutrientes (Ca, Mg e K). A espécie tem baixo requerimento nutricional, sendo o nível crítico dos nutrientes, no solo e na planta, menores do que os observados em outras espécies florestais. Para o K e o Ca, sugerem-se estudos com doses dentro das faixas de valores encontrados, para melhor definição dos níveis críticos.

Palavras-chave: Produção de mudas, Espécies florestais nativas e Nível crítico.

NUTRITION OF RED ANGICO SEEDLINGS (*Anadenanthera macrocarpa* (BENTH.) BRENAN) UNDER DIFFERENT MACRONUTRIENT DOSES

ABSTRACT – The objective of this work was to check the content and amount of N, P, K, Ca and Mg, and determine the critical level of these nutrients in soil and in the plant. The seedlings were grown from December 2004 to May 2005 in 2.1 dm³ pots with soil samples from three classes: red-yellow Alfisol (AVA), alic red-yellow Oxisol (LVA) and red-yellow dystrophic Oxisol (LVD). The treatments were delimited according to a Baconian matrix where macronutrients were varied in three doses, and two additional treatments (zero and control), with four replications. It was found that overall, the seedlings of the species absorb higher amount of N, P, K, Ca and Mg as the soil availability increased. This was reflected in a higher concentration of nutrients applied in all parts of the plant. However, in some cases, there was no corresponding growth in response to this increase. The nutrients that produced more effects were P, N and S; few responses were observed in the other nutrients (Ca, Mg and K). The species has low nutrient requirements, and the critical level of nutrients in the soil and plant were smaller than those observed for other forest species, except for K and Ca, which is suggested for studies with doses within the ranges of values found for better definition of them.

Keywords: Production of seedlings, Native tree species and Critical level.

¹ Recebido em 09.08.2010 e aceito para publicação em 29.03.2012

² Universidade Federal do Espírito Santo, UFES, Brasil. E-mail: <elzimar.goncalves@ufes.br>

³ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, UFV, Brasil. E-mail: <hnpaiva@ufv.br> e <jmgomes@ufv.br>.

⁴ Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, UFV, Brasil. E-mail: <julio@solos.ufv.br>.



1. INTRODUÇÃO

O uso de espécies florestais nativas para produção de madeira ou para enriquecimento de matas e recuperação de áreas degradadas é dificultado pela carência de informações sobre as exigências nutricionais dessas espécies para produção de mudas e para o estabelecimento e desenvolvimento das plantas no campo.

Entre essas espécies, o angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) pode atingir, quando adulto, 13 a 20 m de altura e tronco com 40-60 cm de diâmetro, com ocorrência desde o Maranhão e Nordeste do país até São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso. Espécie decídua, pioneira heliófita e seletiva xerófila, frequente nos chamados cerradões e matas de galeria de todo o Brasil (LORENZI, 2000). Apresenta crescimento de moderado a rápido, podendo atingir, quando em ótimas condições, produtividades de até 25,55 m³/ha/ano. Tal característica a torna interessante para ser aproveitada em reflorestamentos de áreas degradadas ou, mesmo, plantios comerciais, visto que sua madeira, considerada densa (0,84 a 1,10 g cm⁻³), é própria para construção civil e naval, além de servir para a confecção de dormentes e uso em marcenarias. É igualmente indicada para a produção de carvão, uma vez que possui alto teor de lignina. A casca é rica em tanino (13,6% a 20%), sendo, por isso, muito utilizado em curtumes (LORENZI, 2000). Também se presta à arborização de parques e praças e à alimentação animal, devendo, para tal fim, ser usada na forma de feno (CARVALHO, 2003).

Uma vez que a espécie possui potencial para usos múltiplos, alguns estudos relacionados à sua nutrição têm sido realizados, visando à melhoria da qualidade das mudas produzidas, o que aumentaria as chances de sucesso na sua implantação no campo. Entre esses estudos, pode-se citar o de Schumacher et al. (2004), os quais verificaram que a espécie é responsiva à aplicação de P, apresentando os maiores valores de crescimento quando são aplicados 450 mg de P dm⁻³ de solo. Bernardino et al. (2005) concluíram que as características morfológicas da espécie não foram influenciadas pelo aumento de saturação por bases quando as mudas foram cultivadas em um argissolo; todavia, em latossolo (Distrófico e álico), o aumento da saturação por bases (de 14% para 70% no Latossolo Distrófico e de 3% para 65% no Latossolo álico)

possibilitou a obtenção de mudas de melhor qualidade. Em relação à aplicação de nitrogênio, Marques et al. (2006) afirmaram que, na produção de mudas de angico-vermelho, 200 mg dm⁻³ de N, tendo como fonte o sulfato de amônio, é a dose que garante a obtenção de muda de melhor qualidade.

O objetivo deste trabalho foi determinar os teores, conteúdos e nível crítico de N, P, K Ca e Mg no solo e na planta, bem como as doses adequadas desses nutrientes para a produção de mudas de angico-vermelho.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de dezembro de 2004 a maio de 2005, em casa de vegetação, do Viveiro de Pesquisas Florestais do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, localizada nas coordenadas 20°45' S e 42°55' W na região da Zona da Mata do Estado de Minas Gerais. A temperatura média diária no período de condução do experimento foi de 21,1 °C, média das máximas de 26,5 °C e média das mínimas de 17,7 °C. As médias diárias de precipitação e umidade relativa do ar foram de 7,5 mm e 76,7%, respectivamente.

As amostras dos solos usados na produção das mudas foram retiradas cerca de 0,30 m abaixo da camada superficial de três classes de solos predominantes na região da Zona da Mata de Minas Gerais, segundo Resende et al. (2002), que são: Argissolo Vermelho-Amarelo (AVA), Latossolo Vermelho-Amarelo álico (LVA) e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVD). Essas amostras foram enviadas para determinação das características físicas e químicas, as quais são apresentadas na Tabela 1.

Os tratamentos (Tabela 2) foram definidos seguindo uma matriz baconiana (TURRENT, 1979), em que foram testados 17 tratamentos dispostos no delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. Nessa matriz, um dos nutrientes é fornecido em quantidades variáveis, enquanto os outros são mantidos em um nível referencial, além de um tratamento sem adição de nutrientes. Cada solo constitui um ensaio.

As amostras dos solos foram secas ao ar e passadas em peneiras de malha de 5 mm. Em seguida, porções de 2,1 dm³ de cada solo foram colocadas em embalagens plásticas de capacidade aproximada de 5 kg. Posteriormente, os sais fornecedores de Ca e Mg (CaCO₃ e MgCO₃) em forma de pó foram adicionados

nas quantidades definidas nos tratamentos (Tabela 2) e homogeneizados. Adicionou-se água até a capacidade de campo, e esse teor de umidade foi mantido por 20 dias com monitoramento diário por pesagens do solo mais água. Logo após esse período, a irrigação foi suspensa até os 30 dias.

Preparou-se solução aquosa com os demais nutrientes que foram adicionados ao solo seco, com o auxílio de pipetas graduadas de 5 mL. O N, o K e o S foram parcelados em quatro vezes (0, 30, 60, 90 dias) após a semeadura. Os sais usados para formulação das soluções foram: $\text{NH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, K_2SO_4 , e KCl . Adicionou-se também, antes da semeadura, uma solução de micronutrientes, nas seguintes doses: $\text{B} = 0,81 \text{ mg dm}^{-3}$ (H_3BO_3), $\text{Cu} = 1,33$

mg dm^{-3} ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), $\text{Mo} = 0,15 \text{ mg dm}^{-3}$ [$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$], $\text{Mn} = 3,66 \text{ mg dm}^{-3}$ ($\text{MnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) e $\text{Zn} = 4,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (ALVAREZ V., 1974). Após a adubação e devido à homogeneização, os solos foram acondicionados nos vasos.

As sementes de angico-vermelho foram adquiridas no Setor de Silvicultura do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium*, fornecidas pelo Centro Nacional de Pesquisa em Agrobiologia/ EMBRAPA, Seropédica, RJ. Cada vaso recebeu 10 sementes, efetuando-se o primeiro desbaste aos 15 dias após a emergência, deixando-se duas plantas por vaso. Após 30 dias da semeadura, um segundo desbaste foi realizado, deixando-se apenas uma planta por vaso, o que constituiu

Tabela 1 – Classes texturais e atributos de fertilidade de três solos antes da aplicação dos tratamentos.

Table 1 – Texture classes and fertility attributes of three soils before the application of treatments.

Solo	Classe textural	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	T	V	m
		(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)				(cmol _c dm ⁻³)				(%)	
Argissolo Vermelho-Amarelo (AVA)	Franco-argilosa	6,00	2,10	14	1,60	0,10	0,00	3,63	1,74	5,37	32	0
Latossolo Vermelho-Amarelo álico (LVA)	Argilosa	4,80	1,40	32	0,20	0,00	0,80	3,96	0,28	4,24	7	74
Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVD)	Muito argilosa	5,20	0,80	49	0,30	0,00	0,00	1,82	0,43	2,25	19	0

pH em água: relação 1: 2,5; P e K: Extrator Mehlich 1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺: Extrator KCl 1 mol L⁻¹; H + Al. Extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹. pH 7,0; SB = soma de bases; (t) = capacidade de troca catiônica efetiva; (T) = capacidade de troca catiônica, pH 7,0; V = saturação por bases; e m = saturação por alumínio.

Tabela 2 – Descrição dos tratamentos, obtidos pela matriz baconiana, com as devidas doses de macronutrientes aplicados nos três solos utilizados na produção das mudas.

Table 2 – Description of the treatments, obtained by Baconian matrix, with the appropriate doses of macronutrients applied in the three soils used in the seedlings production.

Tratamento	N	P	K	S	Ca	Mg	Tratamento	N	P	K	S	Ca	Mg
	mg dm ⁻³							cmol _c dm ⁻³					
1	100	300	100	40	1,00	0,40	10	100	600	150	40	1,00	0,40
2	0	0	0	0	0	0	11	100	600	200	40	1,00	0,40
3	50	300	100	40	1,00	0,40	12	100	600	100	40	0,80	0,40
4	150	300	100	40	1,00	0,40	13	100	600	100	40	1,20	0,40
5	200	300	100	40	1,00	0,40	14	100	600	100	40	1,40	0,40
6	100	150	100	40	1,00	0,40	15	100	600	100	40	1,00	0,20
7	100	450	100	40	1,00	0,40	16	100	600	100	40	1,00	0,60
8	100	600	100	40	1,00	0,40	17	100	600	100	40	1,00	0,80
9	100	600	50	40	1,00	0,40							



a parcela experimental. Durante o período experimental, a umidade do solo foi mantida próxima de 60% da capacidade de campo, procedendo-se a um monitoramento diário com base na massa de solo e água.

Medições de altura e diâmetro do coleto das mudas foram realizadas 120 dias após a sementeira. Em seguida, as plantas foram colhidas e subdivididas em raízes e parte aérea, lavadas em água destilada e secas em estufa a 45 °C, com circulação forçada de ar até peso constante. Depois de secas, foram pesadas em balança analítica com precisão de 0,01 g para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR), e, pelo somatório das duas, calculou-se a massa seca total (MST). Os teores de N, P, K, Ca e Mg nas partes das plantas foram analisados segundo Embrapa (1997).

Os dados foram interpretados estatisticamente através da análise de contrastes ortogonais, para verificar a existência de efeito dos tratamentos aplicados. Para obtenção das equações, utilizaram-se quatro pontos, sendo três relativos às doses testadas para cada nutriente e um do tratamento de referência comum para todos os nutrientes. Com o software SAEG (Sistema de Análises Estatísticas e Genética), procedeu-se a análises de variância individuais, para estimar o erro experimental e de regressão, escolhendo modelo de melhor ajuste aos dados com base no coeficiente de determinação (R^2) (EUCLYDES, 1997). Os ajustes das equações de regressão foram feitos testando-se os respectivos coeficientes pelo teste “t”, de Student, com base no quadrado médio do resíduo da ANOVA. Dessa forma, diante de dois ou mais modelos com coeficientes significativos, optou-se pelo de maior R^2 .

A partir das equações obtidas, procuraram-se determinar as doses dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg necessárias à obtenção de 90% dos valores máximos estimados das características estudadas.

Os níveis críticos (NC) dos nutrientes na planta foram estimados tendo como base a massa seca total obtida do somatório da massa seca da raiz e da parte aérea das mudas.

Para estimar os NC no solo, dos nutrientes K, Ca e Mg, adotou-se a seguinte expressão:

$NC = X \text{ existente originalmente} + (X \text{ adicionado} * 0,75) = X \text{ no solo, em mg dm}^{-3}$

em que **X adicionado** = valores de K, Ca ou Mg, definidos como a dose recomendada calculada para produzir 90% da matéria seca total. No caso em que não houve efeito sobre o MST, utilizou-se a menor dose testada. O coeficiente de 0,75 utilizado na fórmula refere-se à porcentagem recuperável do nutriente em questão após ser aplicado, considerando os diversos métodos de extração. **X existente originalmente** = teores existentes inicialmente no solo, segundo a análise deste.

O NC de P foi determinado pela derivação de uma equação, que foi ajustada com os teores extraídos pelo extrator Mehlich 1 de amostras de solo provenientes dos tratamentos com diferentes doses de P (150, 450 e 600 mg dm^{-3}), logo após a aplicação dos fertilizantes e homogeneização das amostras dos solos.

3. RESULTADOS

Os valores médios observados da matéria seca total e dos teores e conteúdos de todos os nutrientes presentes nos diversos compartimentos das mudas são expostos na Tabela 3.

Para os teores e conteúdos de N, os efeitos foram explicados, em geral, por modelos lineares (Tabela 4). A exceção foi do conteúdo na parte aérea das plantas cultivadas no LVD, cujo melhor modelo ajustado foi o quadrático. Para o P, os efeitos sobre os teores na parte aérea foram lineares e positivos no AVA e quadráticos no LVA e LVD. Já na raiz, em todos os solos, o efeito foi linear e positivo. O comportamento dos conteúdos de P foi similar aos dos seus teores, sendo linear e positivo em todos os solos, à exceção do conteúdo de P na raiz no AVA.

A aplicação de diferentes doses de K proporcionou efeitos significativos nos teores e conteúdos desse nutriente na raiz, não sendo observados na parte aérea (Tabela 4). Na raiz, ajustaram-se modelos de ordem quadrática para o AVA e linear para LVD e LVA. Para o Ca, ajustaram-se modelos lineares dos teores na parte aérea de mudas no LVD e LVA e nas raízes do LVA. Em relação aos conteúdos na parte aérea, não se observou efeito da aplicação de diferentes doses de nutriente nas mudas cultivadas no AVA e no LVD; nas mudas cultivadas no LVA, o efeito foi de ordem linear e positiva. Nas raízes, verificou-se efeito explicado por um modelo quadrático nas mudas cultivadas no AVA e linear no LVA.

Tabela 3 – Médias observadas dos valores de massa seca total, teores e conteúdos de N, P, K, Ca e Mg, na parte aérea e nas raízes de mudas de angico-vermelho, sob a influência da aplicação de diferentes doses de macronutrientes, em três classes de solos diferentes, aos 120 dias após a semeadura
Table 3 – Means of the values of total dry mass, levels and contents of N, P, K, Ca and Mg in shoots and roots of Red Angico seedlings, under the influence of different macronutrient doses in three different soils 120 days after sowing

Nutriente/ doses (*)	Massa seca total (g)			Teor parte aérea (g kg ⁻¹)			Conteúdo parte aérea (mg planta ⁻¹)			Teor raiz (g kg ⁻¹)			Conteúdo raiz (mg planta ⁻¹)		
	LVD	AVA	LVA	LVD	AVA	LVA	LVD	AVA	LVA	LVD	AVA	LVA	LVD	AVA	LVA
N (mg dm⁻³)															
50	4,45	13,79	12,52	23,20	16,28	17,15	33,16	74,27	67,60	14,18	8,80	10,65	39,23	78,70	91,49
100	5,60	16,07	18,54	27,85	15,90	13,38	62,08	96,54	111,12	16,23	9,40	9,53	45,46	94,90	97,13
150	6,61	18,86	17,68	26,40	15,93	15,45	67,44	146,54	143,40	16,93	9,28	9,35	55,94	87,33	78,50
200	5,50	17,17	24,22	29,80	20,40	15,55	56,41	158,26	199,27	21,45	11,63	10,48	75,12	96,62	119,83
P (mg dm⁻³)															
150	2,68	15,41	15,41	1,37	1,05	1,15	0,86	5,81	3,85	0,45	1,15	1,08	0,91	12,24	7,03
300	5,60	16,07	16,07	1,05	1,58	1,23	2,45	9,64	10,16	0,60	1,63	1,63	1,92	15,90	16,57
450	5,76	14,13	14,13	1,08	2,13	1,83	2,62	14,68	16,10	1,08	2,07	1,95	3,52	15,25	13,59
600	6,12	13,91	13,91	1,40	2,60	2,85	3,98	18,23	19,70	1,57	2,63	2,45	5,20	17,65	17,62
K (mg dm⁻³)															
50	7,42	16,34	17,96	7,68	5,85	5,50	25,40	29,09	43,89	8,27	5,53	7,50	32,13	62,93	54,45
100	5,60	16,07	18,54	9,33	6,68	6,17	21,75	40,06	50,80	8,43	8,05	7,73	26,81	76,82	71,27
150	4,72	14,39	14,95	8,10	7,28	4,90	15,75	37,62	39,00	9,33	8,75	6,40	24,93	77,03	55,30
200	6,01	19,65	17,15	8,60	6,08	8,10	23,87	48,17	69,50	9,45	8,00	9,30	31,33	95,82	104,07
Ca (cmol_c dm⁻³)															
0,8	5,57	16,05	16,01	10,58	11,89	5,23	25,64	64,35	30,57	5,70	3,78	3,30	22,48	35,39	23,34
1	5,60	16,07	18,54	13,15	12,83	6,80	30,54	80,24	54,89	5,33	4,33	3,30	17,51	42,82	33,84
1,2	8,28	17,22	14,12	10,13	10,55	7,75	33,68	76,34	46,01	5,55	4,20	3,95	23,87	42,11	30,36
1,4	4,68	12,28	17,60	15,20	12,30	7,38	22,78	57,46	62,86	6,03	3,77	4,20	18,49	28,04	37,32
Mg (cmol_c dm⁻³)															
0,2	5,94	15,71	13,95	1,60	1,70	1,43	4,06	11,50	9,08	2,65	1,43	1,47	9,75	12,78	11,15
0,4	5,60	16,07	18,54	2,15	2,08	1,80	4,88	12,93	14,83	2,93	1,58	1,65	8,62	15,19	16,83
0,6	7,43	16,45	18,06	2,60	2,00	1,90	7,78	11,88	14,67	2,98	1,48	1,73	11,80	14,80	17,06
0,8	3,73	17,06	19,41	2,53	2,08	1,98	4,07	14,60	16,11	4,68	1,30	1,95	9,71	12,81	21,13

(*) Não foram obtidos valores para a dose = 0, pois a produção de matéria seca nessa dose não foi suficiente para as análises.



Tabela 4 – Resumo das estimativas geradas e, ou, dose recomendada (DR) para o efeito da aplicação de macronutrientes sobre os teores e conteúdos na parte aérea (PA) e na raiz (R) dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg, em mudas de angico-vermelho, aos 120 dias após a semeadura, em três tipos de solos
Table 4 – Summary of generated estimates and recommended dose (RD) for the effect of nutrient application on the levels and contents in the shoot (S) and the root (R) of N, P, K, Ca and Mg nutrients in seedlings of angico-vermelho, 120 days after sowing on three soil types.

Característica solo	Equação	R ²	DR	Característica Solo	Equação	R ²	DR
				N (mg dm ⁻³)			
Teor PA (g kg ⁻¹)	LVD $\hat{Y} = \bar{Y} = 26,81$		50	LVD	$\hat{Y} = 11,5667 + 0,450333^{**}X$	0,89	200
	AVA $\hat{Y} = 14,0250 + 0,0248^{*}X$	0,53	200	AVA	$\hat{Y} = 0,245286 + 0,191378^{*}X$	0,73	200
	LVA $\hat{Y} = 15,38$		50	LVA	$\hat{Y} = \bar{Y} = 10$	-	50
Conteúdo PA (mg planta ⁻¹)	LVD $\hat{Y} = -13,9441 + 1,14899^{*}X - 0,003995^{*}X^2$	0,99	102	LVD	$\hat{Y} = 0,533302 + 0,499967^{*}X$	0,94	200
	AVA $\hat{Y} = 43,4050 + 0,60399^{*}X$	0,95	200	AVA	$\hat{Y} = \bar{Y} = 89,39$	-	50
	LVA $\hat{Y} = 23,5212 + 0,854609^{*}X$	0,99	200	LVA	$\hat{Y} = \bar{Y} = 96,74$	-	50
				P (mg.dm ⁻³)			
Teor PA (g kg ⁻¹)	LVD $\hat{Y} = 1,99375 - 0,00526389^{*}X + 0,000007^{*}X^2$	0,99	150	LVD	$\hat{Y} = -0,033333 + 0,00255^{*}X$	0,96	600
	AVA $\hat{Y} = 0,5375 + 0,00346667^{*}X$	0,99	600	AVA	$\hat{Y} = 0,65 + 0,00324583^{*}X$	0,99	600
	LVA $\hat{Y} = 1,525 - 0,00411666^{*}X + 0,000010556^{*}X^2$	0,99	600	LVA	$\hat{Y} = -0,6625 + 0,00296667^{*}X$	0,99	600
Conteúdo PA (mg planta ⁻¹)	LVD $\hat{Y} = 0,0979168 + 0,00634183^{*}X$	0,93	600	LVD	$\hat{Y} = -0,729209 + 0,00964742^{*}X$	0,98	600
	AVA $\hat{Y} = 1,51487 + 0,0282037^{*}X$	0,99	600	AVA	$\hat{Y} = \bar{Y} = 15,26$	150	
	LVA $\hat{Y} = -0,918623 + 0,0356577^{*}X$	0,98	600	LVA	$\hat{Y} = 0,6506 + 0,019182^{*}X$	0,61	600
				K (mg.dm ⁻³)			
Teor PA (g kg ⁻¹)	LVD $\hat{Y} = \bar{Y} = 8,43$		50	LVD	$\hat{Y} = 7,75833 + 0,0088833^{*}X$	0,89	200
	AVA $\hat{Y} = \bar{Y} = 6,47$		50	AVA	$\hat{Y} = 1,475 + 0,0978666^{*}X - 0,000326667^{*}X^2$	0,99	150
	LVA $\hat{Y} = \bar{Y} = 6,17$		50	LVA	$\hat{Y} = 7,20417 + 0,0103164^{*}X$	0,71	200
Conteúdo PA (mg planta ⁻¹)	LVD $\hat{Y} = \bar{Y} = 21,69$		50	LVD	$\hat{Y} = \bar{Y} = 28,80$		50
	AVA $\hat{Y} = \bar{Y} = 38,73$		50	AVA	$\hat{Y} = 53,4352 + 0,197731^{*}X$	0,89	200
	LVA $\hat{Y} = \bar{Y} = 53,49$		50	LVA	$\hat{Y} = \bar{Y} = 81,92$		50
				Ca (cmol _c .dm ⁻³)			
Teor PA (g kg ⁻¹)	LVD $\hat{Y} = 6,295 + 5,425^{*}X$	0,35	1,4	LVD	$\hat{Y} = \bar{Y} = 5,65$		0,8
	AVA $\hat{Y} = \bar{Y} = 11,4$		0,8	AVA	$\hat{Y} = \bar{Y} = 4,02$		0,8
	LVA $\hat{Y} = 2,7175 + 3,7^{*}X$	0,73	1,4	LVA	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,845 + 1,675^{*}X$	0,88	1,4
Conteúdo PA (mg planta ⁻¹)	LVD $\hat{Y} = \bar{Y} = 28,16$		0,8	LVD	$\hat{Y} = \bar{Y} = 28,58$		0,8
	AVA $\hat{Y} = \bar{Y} = 69,60$		0,8	AVA	$\hat{Y} = -106,280 + 284,262^{*}X - 134,382^{*}X^2$	0,99	0,8
	LVA $\hat{Y} = 0,184860 + 43,999^{*}X$	0,67	1,4	LVA	$\hat{Y} = 10,064 + 19,2303^{*}X$	0,69	1,4
				Mg (cmol _c .dm ⁻³)			
Teor PA (g kg ⁻¹)	LVD $\hat{Y} = 1,41250 + 1,6125^{*}X$	0,83	0,8	LVD	$\hat{Y} = 3,55 - 5,79583^{*}X + 8,85417^{*}X^2$	0,93	0,8
	AVA $\hat{Y} = \bar{Y} = 1,96$		0,2	AVA	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,44$		0,2
	LVA $\hat{Y} = \bar{Y} = 1,78$		0,2	LVA	$\hat{Y} = 1,31667 + 0,7625^{*}X$	0,97	0,8
Conteúdo PA (mg planta ⁻¹)	LVD $\hat{Y} = -1,19344 + 29,7658^{*}X - 28,311^{*}X^2$	0,59	0,37	LVD	$\hat{Y} = \bar{Y} = 9,97$		0,2
	AVA $\hat{Y} = \bar{Y} = 12,73$		0,2	AVA	$\hat{Y} = \bar{Y} = 13,90$		0,2
	LVA $\hat{Y} = 8,44213 + 10,4606^{*}X$	0,75	0,8	LVA	$\hat{Y} = 8,99704 + 15,0906^{*}X$	0,90	0,8

°, * e ** significativos, respectivamente (P<0,1), (P<0,05) e (P<0,01).

Os teores de Mg na parte aérea não foram influenciados pela aplicação do nutriente no LVA e no AVA, apresentando efeito apenas no LVD de ordem linear. No entanto, na raiz ocorreram aumento linear do crescimento das mudas cultivadas no LVA e efeito quadrático nas cultivadas no LVD, sendo ausentes os efeitos no AVA. Em relação aos conteúdos de Mg na parte aérea, observaram-se respostas lineares e positivas no comportamento das mudas cultivadas no LVA e quadrática no LVD, sendo ausente no AVA. Nas raízes, apenas no LVA se observou influência do Mg de forma linear (Tabela 4).

As doses recomendadas para aplicação dos nutrientes e os níveis críticos (NC) dos nutrientes são apresentados na Tabela 5. Verificou-se que, para o N, o NC variou de 14,4 a 26,8 g kg⁻¹; para o P, de 7,5 a 46,8 mg dm⁻³ no solo e 1,1 a 1,4 g kg⁻¹ na planta. Em relação ao K, os NC variaram de 6 a aproximadamente 8,5 g kg⁻¹ na parte aérea e de 51 a 86,5 mg dm⁻³ no solo. Finalmente, para o Ca, o NC no solo variou de 0,3 a 2,2 cmol_c dm⁻³; na planta, de 5 a 11,9 g kg⁻¹. Já para o Mg no solo o NC variou de 0,2 a 0,8 cmol_c dm⁻³, e na planta a variação foi de 1,7 a 1,9 g kg⁻¹.

4. DISCUSSÃO

As mudas cultivadas no LVD tiveram menor crescimento, o que resultou em menor quantidade de matéria seca, tanto da parte aérea quanto da raiz. Dessa forma, os teores ficaram concentrados. O contrário foi observado com relação aos valores de conteúdo, sendo os maiores valores verificados quando houve

maior produção de massa seca. No LVA, as mudas apresentaram maior crescimento, comprovado pelos maiores valores de matéria seca, que, por serem maiores, foram responsáveis pela diluição dos teores encontrados, contudo os conteúdos também foram maiores. As mudas cultivadas no AVA apresentaram valores de matérias seca intermediários entre os dois, assim como os valores de teor e conteúdo.

4.1. Efeitos sobre os teores, conteúdos e nível crítico de nitrogênio

A aplicação de doses de N só favoreceu o aumento dos teores de forma significativa desse elemento na parte aérea, quando as mudas foram cultivadas no AVA; nas raízes, foi significativo quando as mudas foram cultivadas no solo LVD e AVA. Quanto aos conteúdos de N, também se observaram efeitos mais expressivos na parte aérea, sendo os resultados opostos aos dos teores, ou seja, os maiores conteúdos observados no LVA e no AVA decorreram da maior quantidade de biomassa produzida quando as mudas de angico-vermelho foram cultivadas nesses solos.

Os teores na parte aérea encontrados neste trabalho variaram de 13 a 20 g kg⁻¹, de acordo com o solo estudado. Venturin et al. (1999), no angico-amarelo (*Peltophorum dubium*), verificaram teores de 16,2 g kg⁻¹ na matéria seca da parte aérea. Nas raízes, os teores variaram de 8 a 21 g kg⁻¹. Para o ideal crescimento e desenvolvimento das plantas, Epstein e Bloom (2006) sugeriram o valor de aproximadamente 15 g kg⁻¹, enquanto Marschner (1995) indicou valores entre 20

Tabela 5 – Valores de dose recomendada de N, P, K, Ca e Mg para a obtenção de 90% da produtividade máxima no solo e na parte aérea das plantas de angico-vermelho, em função das diferentes doses dos macronutrientes aplicadas em três classes de solos.

Table 5 – Recommended dose values of N, P, K, Ca, and Mg to obtain 90% of maximum productivity in the soil and the shoots of angico-vermelho, depending on the different doses of nutrients applied in three different soil classes.

Nutriente	Dose recomendável (mg dm ⁻³)			Nível crítico no solo (mg dm ⁻³)			Nível crítico na planta (g kg ⁻¹)		
	LVD	AVA	LVA	LVD	AVA	LVA	LVD	AVA	LVA
N	50	50	200	-	-	-	26,8	14,4	15,4
P	150	150	249	7,5	12,6	45,8	1,4	1,1	1,2
K	50	50	50	86,5	51,5	69,5	8,5	6,5	6,2
Nutriente	Dose recomendável (cmol _c dm ⁻³)			Nível crítico no solo (cmol _c dm ⁻³)			Nível crítico na planta (g.kg ⁻¹)		
	LVD	AVA	LVA	LVD	AVA	LVA	LVD	AVA	LVA
Ca	0,8	0,8	0,8	0,9	2,2	0,8	10,6	11,4	6,0
Mg	0,2	0,2	0,8	0,2	0,2	0,8	1,7	1,9	1,8

e 50 g kg⁻¹. Assim, os valores observados no angico-vermelho estão dentro da faixa proposta por esses autores.

O nível crítico de N na planta de angico-vermelho teve maior valor requerido quando o solo utilizado foi o LVD, que apresentou as piores características iniciais de fertilidade. Os valores encontrados nas plantas cultivadas no LVA e AVA foram próximos, indicando que nesses solos as mudas têm requerimentos parecidos para seu ideal crescimento.

As doses recomendadas variaram de 50 a 200 mg dm⁻³. É importante salientar que, de maneira geral, grandes quantidades de N são requeridas pelas plantas, principalmente na fase inicial de desenvolvimento. Assim, a restrição de N diminui o crescimento, pois esse nutriente, além de fazer parte da estrutura de aminoácidos, proteínas, bases nitrogenadas, ácidos nucleicos, enzimas, coenzimas, vitaminas, pigmentos e produtos secundários, participa de processos como absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular (MARSCHNER, 1995), que interferem direta ou indiretamente no desenvolvimento da planta.

4.2. Efeitos sobre os teores, conteúdos e nível crítico de fósforo

Os teores encontrados neste estudo variaram de 1 a 2,8 g kg⁻¹ na parte aérea e de 0,4 a 2,6 g kg⁻¹ nas raízes, sendo menores do que os sugeridos por Marschner (1995), ou seja, de 3 a 5 g kg⁻¹. Em termos comparativos, em peroba-rosa Muniz e Silva (1995) concluíram que o teor ideal foi de 2 g kg⁻¹, enquanto Silva e Muniz (1995), em mudas de cedro, constataram teor de 3,3 g kg⁻¹.

Os menores conteúdos foram observados nas mudas cultivadas no LVD, ficando o valor máximo próximo a 5 mg planta⁻¹, tanto na parte aérea quanto na raiz. Embora doses crescentes de fósforo tenham sido aplicadas nesse solo, a alta porcentagem de argila pode ter implicado em grande adsorção desse nutriente, não o deixando disponível para as plantas. Já os valores observados no AVA e LVA na parte aérea variaram de aproximadamente 5 a 25 mg planta⁻¹, à medida que se aumentaram as doses. Na raiz, esses valores foram menores, de aproximadamente 20 mg planta⁻¹ no LVA, não diferindo no AVA.

As doses de P recomendadas para melhor crescimento das mudas variaram de 150 a 249 mg de P dm⁻³ (Tabela 4). Gomes (2004) encontrou no angico-branco valores de

127 mg dm⁻³ e em garapa, de 191 mg dm⁻³, enquanto Balieiro et al. (2001), em *Acacia holocericea*, obtiveram valores variando de 98 a 209 mg dm⁻³.

No que diz respeito ao nível crítico no solo, esses valores diferem dos observados por Gomes et al. (2004), que estudaram o angico-branco, cujo nível crítico de P no solo variou de 12,87 a 13,88 mg dm⁻³. Na planta, os níveis críticos variaram de 1,1 a 1,4 g kg⁻¹, sendo muito próximos aos observados por Gomes et al. (2004) em angico-branco, cujos valores foram de 1,2 a 1,4 g kg⁻¹.

4.3. Efeitos sobre os teores e conteúdos e nível crítico de potássio

Os teores de K, observados nas mudas, variam entre 5 e aproximadamente 10 g kg⁻¹, tanto na parte aérea quanto na raiz. De acordo com Marschner (1995), o requerimento desse nutriente para um ótimo crescimento das plantas se encontra entre 20 e 50 g kg⁻¹ na matéria seca, variando de acordo com a espécie e o órgão analisado. Portanto, os valores encontrados neste estudo estão abaixo da indicação desses autores, mesmo se forem adicionados os valores da parte aérea e da raiz, o que totalizaria aproximadamente 19 g kg⁻¹. Tal observação sugere que o angico-vermelho seja pouco exigente quanto a esse elemento, necessitando de menores teores dele para o seu completo desenvolvimento. Isso explicaria por que tanto nos teores quanto nos conteúdos da parte aérea e das raízes pouco se observaram respostas em razão do aumento de doses de K nos solos. Contudo, para Taiz e Zeiger (2004) e Epstein e Bloom (2006), o nível adequado de K nos tecidos requeridos pelas plantas é em torno de 10 g kg⁻¹, o que está de acordo com este estudo.

Os valores obtidos para o nível crítico no solo são bem maiores do que os verificados por Fernández et al. (1996), cujo valor foi de 16,6 mg dm⁻³ na espécie *Mimosa tenuiflora*, e Dias et al. (1992), em mudas de taxi-branco, os quais encontraram valores de 27,4 mg dm⁻³. Todavia, os valores deste trabalho apontaram uma faixa de nível crítico, cujos valores máximos foram esses estimados. Logo, sugerem-se novos estudos, tendo por base valores intermediários a esses. Em relação ao nível crítico na planta, os valores encontrados foram menores do que os de Fernández et al. (1996) em *Mimosa tenuiflora*, que foi de 11 g kg⁻¹.

4.4. Efeitos sobre os teores, conteúdos e nível crítico de cálcio

Os teores de Ca encontrados nas plantas variaram de 5 a 15 g kg⁻¹ na parte aérea e de 3 a 6 g kg⁻¹ na raiz, estando dentro da faixa proposta por Marschner (1995),

que salientou que o teor desse nutriente na planta que garante seu pleno desenvolvimento pode variar de 1 a 50 g kg⁻¹, dependendo da espécie. Já Taiz e Zeiger (2004) e Epstein e Bloom (2006) apontaram 5 g kg⁻¹ como a quantidade ideal. Outros autores também observaram valores parecidos, estudando outras espécies, entre elas o cedro e a peroba-rosa, avaliados por Silva e Muniz (1995) e Muniz e Silva (1995), cujos valores foram de 15 e 16,5 g kg⁻¹, respectivamente. Entretanto, Marques et al. (2004), em mudas de paricá (*Schizolobium amazonicum*), observaram teores de Ca de 39,77 g kg⁻¹ bem maiores do que os deste estudo.

Os valores estimados de nível de crítico no solo variaram de 0,8 a 2,2 cmol_c dm⁻³, sendo maiores, sobretudo, no solo AVA, se comparados com os de Dias et al. (1992) em mudas de taxi-branco, cujo valor estimado foi de 0,37 cmol_c dm⁻³. No AVA, o alto teor inicial desse nutriente no solo pode ter influenciado o alto valor de NC estimado. Assim, sugerem-se novos estudos dentro dessa faixa encontrada. Já na planta o NC variou de 6 a 11,6 g kg⁻¹.

4.4. Efeitos sobre os teores e conteúdos de magnésio e nível crítico de magnésio

Os teores de Mg observados neste estudo são parecidos, embora um pouco menores, com os do paricá (*Schizolobium amazonicum*), estudado por Marques et al. (2004), cujo valor observado foi de 3,9 g kg⁻¹. Já Mendonça et al. (1999) encontraram valores de 6,2 g kg⁻¹ e 6,5 g kg⁻¹ em mudas de aroeira. Para Marschner (1995), os teores ideais para o pleno desenvolvimento das plantas estão, em geral, na faixa de 2 a 4 g kg⁻¹, o que é afirmado também por Taiz e Zeiger (2004) e Epstein e Bloom (2006).

Em relação ao nível crítico na planta (Tabela 4), os valores estimados variaram de 0,2 a 0,8 g kg⁻¹ no solo e de 1,7 a 1,8 g kg⁻¹ na parte aérea. Entre as principais funções do magnésio nas plantas, destaca-se a sua participação na clorofila, sendo também ativador de grande número de enzimas. Dado que originalmente quase não havia Mg no solo, à exceção do AVA, a aplicação desse nutriente foi necessária para garantir a produção de mudas com qualidade.

5. CONCLUSÕES

As mudas de angico-vermelho aumentam a absorção dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg à medida que também aumenta o suprimento deles no solo, e

em alguns casos não há resposta em crescimento correspondente a esse aumento.

A espécie tem baixo requerimento nutricional, sendo o nível crítico dos nutrientes no solo e na planta, em geral, menores do que os observados em outras espécies florestais.

Os nutrientes que mais limitam o crescimento das mudas são o P e o N, sendo o K, o Ca e o Mg os menos limitantes, nas mesmas condições deste estudo.

A respeito do K e o Ca, sugerem-se estudos com doses dentro da faixa dos valores encontrados, para possibilitar melhor definição do nível crítico desses nutrientes para a espécie estudada.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos e bolsas de produtividade em pesquisa; e ao Projeto PRODETAB 130-02/01, pelo financiamento deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- ALVAREZ V., V. H. **Equilíbrio de formas disponíveis de fósforo e enxofre em dois Latossolos de Minas Gerais**. 1974. 125f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1974.
- BALIERO, F. C.; OLIVEIRA, I. G.; DIAS, L.E. Formação de mudas de *Acacia holosericea* e *Acacia auriculiformis*: resposta a calagem, fósforo, potássio e enxofre. **Revista Árvore**, v.25, n.2, p.183-191, 2001.
- BERNARDINO, D. C. S. et al. Crescimento e qualidade de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) brenan em resposta à saturação por bases do substrato. **Revista Árvore**, v.29, n.6, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622005000600004&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 28 Abr. de 2007.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa informações tecnológicas, Colombo: Embrapa Florestas, 2003. v.1.. 1039p.

DIAS, L. E. et al. Formação de mudas de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Voguel): Resposta a nitrogênio, potássio e enxofre. **Revista Árvore**, v.16, n.2, p.135-143, 1992.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2.ed. Londrina: Planta, 2006. 403p.

EUCLYDES, R. F. **Manual de utilização do programa SAEG** (Sistema para análises estatísticas e genéticas). Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 59p.

FERNÁNDEZ, J. Q. P. et al. Crescimento de mudas de *Mimosa tenuiflora* submetidas a diferentes níveis de calagem e doses de fósforo, potássio e enxofre. **Revista Árvore**, v.20, n.4, p.425-431, 1996.

GOMES, K. C. O. et al. Influência da saturação por bases e do fósforo no crescimento de mudas de angico-branco. **Revista Árvore**, v.28, n.6, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622004000600003&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 28 abr. de 2007.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**. Nova Odessa: Plantarum, 2000. v.1. 352p.

MARQUES, T. C. L. L. S. M. et al. Exigências nutricionais do paricá (*Schizolobium amazonicum*, Herb.) na fase de muda. **Revista Cerne**, v.10, n.2, p.167-183, 2004.

MARQUES, V. B. et al. Efeitos de fontes e doses de nitrogênio no crescimento de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). **Scientia Forestalis**, n.71, p.77-85, 2006.

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

MENDONÇA, A. V. R. et al. Exigências nutricionais de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All (Aroeira do Sertão). **Revista Cerne**, v.5, n.2, p.65-75, 1999.

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

RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para distinções de ambientes**. 4.ed. Viçosa, MG: Neput, 2002. 338p.

SCHUMACHER, M. V.; CECONI, D. E.; SANTANA, C. A.. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Benth) Brenan). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622004000100019&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 14 jun. de 2007.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TURRENT, F. A. **Uso de una matriz mixta para la optimización de cinco a ocho factores controlables de la producción**. Chapingo-México: Rama de Suelos, Colégio de Postgraduados, 1979. 65p. (Boletim Técnico, 6)

VENTURIN, N. et al. Adubação mineral do Angico-Amarelo (*Peltophorum dubium* (SPRENG.) TAUB.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.3, p.441-448, 1999.