

## Crescimento inicial e nutrição mineral de espécies florestais com potencial econômico sob omissão de nutrientes

Fernanda Leite Cunha<sup>1</sup>\* Rodolfo Soares de Almeida<sup>2</sup> Paloma Carvalho Diniz<sup>1</sup> Stella Helena Augusto de Paula<sup>1</sup> Vinicius Augusto Campos<sup>1</sup> Nelson Venturin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestais, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

### Original Article

\*Corresponding author:  
fernandaleitecunha@gmail.com

**Keywords:**  
Nutrient omission

Forest nutrition

Nutritional

management, Forestry

**Palavras-chave:**  
Elemento faltante

Nutrição florestal

Manejo nutricional

Silvicultura

**Received in**  
2021/09/02

**Accepted on**  
2023/01/26

**Published in**  
2023/03/31



DOI:  
<http://dx.doi.org/10.34062/af.s.v10i1.12937>

**RESUMO:** O manejo nutricional caracteriza-se como uma das mais limitantes barreiras no desenvolvimento da silvicultura. Dentro deste contexto o presente trabalho visa estabelecer o efeito da calagem e das omissões de macro e micronutrientes sobre o desenvolvimento e o estado nutricional de plantas de *Leucaena leucocephala*, *Cordia trichotoma* e *Astronium graveolens*. O experimento foi conduzido em casa de vegetação com vasos de 5 dm<sup>3</sup> em delineamento de blocos casualizados com parcelas de plantas únicas, sendo testados 12 tratamentos, compostos de combinações de omissão de N; P; K; S; B; Zn; Ca; Mg, sem adubação e adubações completas. A omissão de nutrientes e exclusão da calagem limitou o crescimento das espécies florestais em altura, diâmetro do coleto, acúmulo de biomassa e reduziu a qualidade das mudas. Conclui-se que a calagem foi benéfica para o crescimento da *Cordia trichotoma* e *Astronium graveolens* e a ordem de importância dos nutrientes é N > K > P, Zn > Ca, Mg, B, S para *L. leucocephala*, N, P, K, Ca e Zn > Mg, B, S para *C. trichotoma* e N, P, B, Ca > K, Zn > S para *A. graveolens*.

### Initial growth and mineral nutrition of species with economic potential under omission of nutrients

**ABSTRACT:** Nutritional management is one of the most limiting barriers to forestry development. In this context, the present work aims to establish the effect of liming and omissions of macro and micronutrients on plants development and nutritional status of *Leucaena leucocephala*, *Cordia trichotoma*, and *Astronium graveolens*. The experiment was carried out in a greenhouse with five dm<sup>3</sup> pots in a randomized block design with single plant plots, with 12 treatments consisting of omission of N; P; K; S; B; Zn; Ca; Mg, without fertilization and complete fertilization. Nutrients omission and exclusion of liming limited plant growth in height, collar diameter, biomass accumulation, and reduced seedling quality. Liming is beneficial for *Cordia trichotoma* and *Astronium graveolens*. The nutrients importance order is N > K > P, Zn > Ca, Mg, B, S for *L. leucocephala*, N, P, K, Ca and Zn > Mg, B, S for *C. trichotoma* and N, P, B, Ca > K, Zn > S for *A. graveolens*.

## Introdução

A economia florestal brasileira está restrita a poucos gêneros dentre os quais se destacam *Eucalyptus*, *Pinus* e a espécie *Schizolobium amazonicum* (Ibá, 2020). Uma das maiores limitações para incorporar uma maior diversidade de espécies está ligada a lacuna de conhecimento sobre sua silvicultura e seus aspectos nutricionais (Brancalion et al. 2012). Dessa forma, destaca-se a necessidade de estudos sobre os aspectos nutricionais de espécies com potencial produtivo como *Leucaena leucocephala*, *Cordia trichotoma* e *Astronium graveolens*, visando a uma maior diversificação no tocante à produção florestal.

A espécie *Leucaena leucocephala*, é pertencente à família Fabaceae, nativa da América Central, cultivada na maioria dos países tropicais e subtropicais do mundo, devido ao seu potencial produtivo (Lim, 2012). A espécie é utilizada para enriquecimento e melhoria de solos, sombra para cultivos, controle de erosão e ainda possui grande potencial para alimentação animal (Drumond e Ribaski, 2010). A *Astronium graveolens* é uma espécie da família Anacardiaceae, é considerada uma espécie plástica, por ocupar diversos tipos de ambientes, com distribuição natural desde o México até o Brasil, Bolívia e Paraguai (Lorenzi, 2008; Neto et al. 2018). A importância econômica dessa espécie é especialmente representada pelo uso da madeira nobre, que possui alta densidade, elevada dureza ao corte e com grande resistência a esforços de flexão e choques, tendo o seu uso apropriado na construção civil, obtenção de lenha e carvão, além do uso medicinal (Araújo et al. 2014).

A *Cordia trichotoma* é uma espécie arbórea nativa, pertencente à família Boraginaceae, com ocorrência natural desde a região nordeste até a região sul do Brasil, nas florestas Pluviais Atlânticas semidecíduas e no cerrado (Lorenzi, 2008). Mesmo apresentando crescimento considerado de lento a moderado, a espécie apresenta potencial silvicultural (Carvalho, 2003; Trianosk, 2018). A utilização da *Cordia trichotoma* em plantios econômicos tem-se mostrado viável principalmente, devido às boas características de sua madeira, tais como, boa trabalhabilidade, sendo moderadamente pesada, dura, e boa durabilidade em ambientes secos (Lorenzi, 2008, Trianosk, 2018).

As espécies florestais possuem diferentes exigências nutricionais, dessa forma, para se explorar os melhores índices de crescimento e produtividade, das diferentes espécies de interesse, é fundamental o desenvolvimento de estudos de exigências nutricionais das mesmas (Brun et al. 2012). Para isso são desenvolvidas algumas técnicas, como a do estudo do elemento faltante ou como também é conhecida diagnose por omissão (Carlos et al. 2014). Essa técnica é uma metodologia simples e segura usada para a identificação das exigências nutricionais de espécies vegetais, na qual envolve o

crescimento de uma planta, sob condições de campo ou casa de vegetação, em que é testado um tratamento completo (com todos os nutrientes) e uma série de tratamentos, nos quais é feita a omissão de um nutriente de cada vez (Carlos et al. 2014; Moretti et al. 2011).

A avaliação da ordem de limitação de nutrientes, a partir da técnica do elemento faltante, é o primeiro passo para compreender as necessidades nutricionais das diferentes espécies de plantas conhecidas, e além do requerimento nutricional, uma das grandes vantagens do uso dessa técnica, é a possibilidade de estudar o efeito da calagem no crescimento das plantas (Costa et al. 2007; Carlos et al. 2014). A calagem promove a melhoria do uso de fertilizantes, devido a correção do pH do solo, o qual apresenta efeito direto na absorção dos nutrientes, por reduzir a competição pelos sítios de absorção da raiz entre os nutrientes e os  $H^+$  e  $OH^-$  (Neto et al. 2001). Ademais, a correção do pH, possibilita a redução da toxidez promovida pelo  $H^+$ ,  $Al^{3+}$  e  $Mn^{+2}$ , que prejudica o crescimento das plantas (Silva et al. 2019).

Existe uma lacuna na literatura sobre as informações nutricionais das espécies *Leucaena leucocephala*, *Cordia trichotoma* e *Astronium graveolens* são incipientes. Diante do exposto, este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito das omissões de macro e micronutrientes e o efeito da calagem sobre o desenvolvimento e o estado nutricional de plantas das espécies.

## Material e Métodos

O experimento foi instalado e conduzido em casa de vegetação, em um viveiro florestal localizado na região sul de Minas Gerais (21° 13' 14,033" S e 44° 58' 0,232" O). Para o presente estudo, foram utilizadas três espécies florestais, a *Leucaena leucocephala*, *Cordia trichotoma* e *Astronium graveolens*.

Para as três espécies, as sementes foram coletadas, em fragmentos florestais e pastagens na região do sul de Minas Gerais, nos meses de novembro de 2017 a maio de 2018. As sementes foram semeadas em tubetes de 110 cm<sup>3</sup>. As mudas permaneceram por 120 dias na casa de sombra com 50% de irradiância e irrigação por microaspersão três vezes ao dia com cinco minutos de duração cada, e vazão de 140 L h<sup>-1</sup>.

Posteriormente, as mudas foram transferidas para casa de vegetação, por um período de 150 dias, as quais foram plantadas em vasos plásticos de 5 dm<sup>3</sup>. Os vasos foram recobertos por um saco plástico, preenchidos com Latossolo amarelo distrófico, coletado no município de Itumirim-MG, a uma profundidade de 20 a 40 cm, evitando-se a camada fértil do solo, para conhecer as limitações nutricionais das espécies. O solo foi seco ao ar livre e peneirado, sendo retirada amostras para

realização das análises físicas e químicas, no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Ciência do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras, cujo resultados estão disponíveis na Tabela 1.

As seguintes análises químicas foram realizadas: pH em água e 1 mol L<sup>-1</sup> de KCl; fósforo disponível (P), e potássio (K<sup>+</sup>) após extração com 0,5 mol L<sup>-1</sup> HCl + 0,0125 mol L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Mehlich-1); cálcio (Ca<sup>2+</sup>) e magnésio (Mg<sup>2+</sup>) por espectroscopia de absorção atômica e Al<sup>3+</sup> por titulação após extração com 1 mol L<sup>-1</sup> de KCl; acidez potencial (H+Al) por titulação após extração com 0,5 mol L<sup>-1</sup> Ca(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> a pH 7,0 e P remanescente (Alvarez e Fonseca, 1990). Os micronutrientes, ferro (Fe) e manganês (Mn) foram extraídos por meio de uma solução quelante (DTPA), e os elementos químicos foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O boro (B) foi extraído com água quente e determinado por colorimetria. Todas as análises químicas e físicas foram baseadas na Métodos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2017).

Para os tratamentos que receberam o calcário, as doses foram adicionadas para elevar a saturação por bases para 60%, com base no resultado da análise química do solo. Para isso, utilizou-se o calcário dolomítico calcinado com 36% de CaO e 14% de MgO (Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) igual a 100%). As doses aplicadas foram de 2,20 g por vaso, conforme fórmula proposta por Raij (2011). Após aplicação, foi feita a incubação do solo por 30 dias, com umidade próxima a 60% do volume total de poros (Freire et al. 1979).

Os tratamentos foram constituídos da adubação com elemento faltante, de acordo com a Tabela 2. Para compreender melhor o efeito do uso da calagem no crescimento das três espécies, foram

testados tratamentos em condições ótimas de crescimento, com a adição de todos os nutrientes e a realização da calagem (C1), tratamento sem aplicação da calagem, contudo com aplicação de Ca e Mg (C2), e o tratamento, sem adição de calagem, Ca e Mg (C1-Cal). O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), com doze tratamentos, cinco repetições e parcelas de planta única.

As doses das fontes foram calculadas, atendendo a adubação básica de cada tratamento, em que foi aplicado a diferença entre o que estava presente no solo e o recomendado por Malavolta (1980): 100 mg de N, 300 mg de P, 100 mg de K, 200 mg de Ca, 60 mg de Mg, 40 mg de S, 0,5 mg de B, 0,5 mg de Zn. Foram utilizados como fontes os seguintes sais puros para análises (p. a.) NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (35% de N), KCl, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, ZnSO<sub>4</sub> .7H<sub>2</sub>O. As doses de N e K foram divididas em três aplicações, aos 30, 60 e 90 dias, os micronutrientes (Zn e B) foram aplicados aos 30 dias após plantio, e os demais nutrientes (P, Ca, Mg e S) foram aplicados na adubação de base.

Aos 150 dias após o plantio, das espécies *Leucaena leucocephala*, *Cordia trichotoma* e *Astronium graveolens* realizou-se a mensuração da altura da parte aérea (H) e do diâmetro de coleto (DC). As análises destrutivas foram realizadas por meio da separação do sistema radicular e da parte aérea, a qual foi subdividida em folhas e galhos. Após a divisão, efetuou-se a lavagem do material com água deionizada, com posterior armazenamento em embalagem de papel para serem secas em estufa de circulação forçada de ar, com a temperatura de 65°C até atingir peso constante (aproximadamente, 72h).

Tabela 1: Resultado da análise química e física do Latossolo Amarelo Distrófico utilizado como substrato para o preenchimento dos vasos.

Atributos	Resultados	Atributos	Resultados
pH (H <sub>2</sub> O)	5,20	m (%)	53,42
P (mg dm <sup>-3</sup> )	0,28	M.O. (g Kg <sup>-1</sup> )	0,13
K (mg dm <sup>-3</sup> )	12,64	Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	0,49
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,21	Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	24,45
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,10	Mn (mg kdm <sup>-3</sup> )	5,06
AL <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,39	B (mg dm <sup>-3</sup> )	0,01
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,64	Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	0,10
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,34	S (mg dm <sup>-3</sup> )	10,94
(t) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,73	Areia (dag kg <sup>-1</sup> )	66,00
(T) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,98	Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	11,00
V (%)	17,29	Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	23,00

Em que: SB: soma de base; t: CTC efetiva; T: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação por base; m: índice de saturação por alumínio. Fonte: Dos autores (2023).

Com o material seco, realizou-se a pesagem em balança de precisão (0,01 g) para obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA), da massa seca

radicular (MSR) e da massa seca total (MST). Como forma de verificar a qualidade morfológica das mudas, foram calculados o índice de robustez

(H/DC), relação de matéria seca da parte aérea raiz (MSPA/MSR), e o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) (Dickson et al. 1960), Equação 1.

laboratory scrubber with a 0.5 mm slit. The screened yield, the kappa number and the selectivity for each pulp were determined according to Table 2.

The consumption of the specific raw material, the active alkali and the solid content created per ton of produced pulp were calculated according to equations (5) to (7).

$$IQD = \frac{MST}{\frac{H}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}} \quad (1)$$

Os dados obtidos das características morfológicas, foram submetidos à análise de normalidade dos erros e homogeneidade pelo teste de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Ao conferirem normalidade realizou-se a análise de variância (ANOVA), e uma vez verificada a diferença significativa, foi realizado o teste Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade de erro, entre os tratamentos, por meio do *software* SISVAR (Ferreira, 2014).

## Resultados

As três espécies estudadas apresentaram diferenças significativas dentre os tratamentos propostos, para as variáveis analisadas. As médias de altura, diâmetro de coleto, índice de robustez, MSPA, MSR, MST, relação parte aérea e raiz e IQD, para os tratamentos testados, encontram-se na Tabela 3.

Para a *Leucaena leucocephala* a remoção do N (C1-N) resultou no menor desenvolvimento da muda para todas as variáveis analisadas, não se diferenciando significativamente do controle. Para a altura, além do efeito negativo da omissão de N, a omissão de K também reduziu significativamente a média das mudas. Apesar dos efeitos negativos observados nas diversas variáveis pela omissão dos nutrientes, a qualidade final das mudas, mensurada pelo IQD, não diferiram significativamente, apresentando média geral de 1,96. A ordem crescente de limitação de crescimento, em relação a altura, para espécie foi de N > K > P, Zn > Ca, Mg, B, S.

Tabela 3: Crescimento das variáveis altura (H), diâmetro de coleto (DC), índice de robustez (H/DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR), massa seca total (MST), relação parte aérea raiz (MSPA/MSR), e índice de qualidade de Dickson (IQD), aos oito meses de idade, para as espécies *Leucaena leucocephala*, *Cordia trichotoma*, *Astronium graveolens*.

<i>Leucaena leucocephala</i>								
Tratamento	H (cm)	DC (mm)	H/DC	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)	MSPA/MSR	IQD
C1	81,18 a	8,23 a	9,97 a	11,30 a	11,38 a	22,68 b	1,00 a	2,12 a
C2	72,62 a	7,72 a	10,96 a	9,35 b	8,98 b	18,33 c	1,05 a	1,60 a
C1-N	40,37 d	6,20 b	6,57 b	3,63 c	5,66 c	9,29 d	0,68 b	1,28 a
C1-K	62,33 c	7,12 a	9,47 a	9,07 b	8,95 b	18,02 c	0,97 a	2,36 a
C1-S	77,00 a	7,72 a	10,06 a	10,22 b	10,32 b	20,60 c	0,99 a	1,87 a
C1-P	72,62 b	7,15 a	10,11 a	9,44 b	9,76 b	19,20 c	1,05 a	1,72 a
C1-B	80,50 a	7,93 a	10,12 a	12,10 a	10,82 b	22,93 b	1,10 a	2,05 a
C1-Zn	74,00 b	7,30 a	10,12 a	10,46 b	10,14 b	20,60 c	1,03 a	1,85 a
C1-Cal	84,66 a	7,76 a	10,94 a	13,42 a	12,43 a	25,85 a	1,01 a	2,15 a
C2-Ca	82,00 a	7,76 a	10,68 a	11,59 a	12,36 a	23,95 b	1,00 a	2,09 a
C2-Mg	84,66 a	8,15 a	10,40 a	14,59 a	13,93 a	28,52 a	1,05 a	2,49 a
Controle	37,16 d	6,27 b	6,09 b	3,78 c	5,58 c	9,37 d	0,67 b	1,39 a

  

<i>Cordia trichotoma</i>								
Tratamento	H (cm)	DC (mm)	H/DC	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)	MSPA/MSR	IQD
C1	56,00 a	6,33 a	8,79 a	10,96 a	6,59 a	17,55 a	1,31 b	1,42 a
C2	29,66 b	4,23 b	6,42 b	4,48 c	1,76 c	6,24 b	2,58 a	0,68 b
C1-N	14,50 b	2,60 b	5,42 b	3,05 c	1,19 c	4,24 b	2,56 a	0,47 b
C1-K	36,50 b	3,60 b	10,05 a	2,45 c	0,74 c	3,20 b	3,27 a	0,24 b
C1-S	76,00 a	6,70 a	11,17 a	12,73 a	4,47 b	17,21 a	3,11 a	1,18 a
C1-P	10,50 b	2,25 b	4,70 a	2,50 c	1,50 c	4,00 b	1,66 b	0,62 b
C1-B	64,00 a	7,26 a	9,21 a	8,90 b	3,22 b	12,12 a	2,81 a	1,04 a
C1-Zn	41,00 b	4,43 b	9,32 a	2,42 c	1,38 c	3,80 b	1,85 b	0,33 b
C1-Cal	15,00 b	3,00 b	5,11 b	6,59 b	1,81 c	8,40 b	3,64 a	0,41 b
C2-Ca	23,50 b	3,25 b	7,23 b	3,10 c	1,75 c	4,85 b	1,80 b	0,53 b
C2-Mg	61,00 a	7,03 a	8,89 a	7,19 b	3,25 b	10,44 a	2,11 b	0,97 a
Controle	10,00 b	1,20 b	1,67 c	2,00 c	1,00 c	3,00 b	2,00 b	0,29 b

...continua

Continuação da Tabela 3:

<i>Astronium graveolens</i>								
Tratamento	H (cm)	DC (mm)	H/DC	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)	MSPA/MSR	IQD
C1	80,33 a	8,36 a	9,54 a	18,00 b	10,00 b	28,00 b	1,80 a	2,47 a
C2	31,66 c	4,36 a	6,64 a	13,70 c	8,70 b	22,40 c	1,57 a	2,73 a
C1 –N	32,00 c	7,15 a	4,52 a	13,80 c	9,00 b	22,80 c	1,53 a	3,77 a
C1 –K	44,66 b	6,93 a	6,45 a	16,00 b	11,00 b	27,00 b	1,45 a	3,42 a
C1 –S	46,00 b	6,70 a	6,65 a	25,00 a	20,00 a	45,00 a	1,25 a	5,70 a
C1 –P	30,00 c	9,65 a	3,21 a	16,00 b	9,65 b	25,65 b	1,65 a	5,27 a
C1 –B	25,00 c	5,60 a	4,46 a	10,00 c	8,92 b	18,92 c	1,12 a	3,39 a
C1 –Zn	48,00 b	5,50 a	8,75 a	13,00 c	8,56 b	21,56 c	1,51 a	2,10 a
C1 –Cal	37,50 b	9,45 a	3,99 a	11,00 c	8,00 b	19,00 c	1,37 a	3,54 a
C2 –Ca	32,00 c	6,00 a	5,66 a	9,10 c	5,98 b	15,08 c	1,52 a	2,10 a
C2 –Mg	50,25 b	7,21 a	7,16 a	15,50 b	9,40 b	24,90 b	1,64 a	2,83 a
Controle	26,00 c	5,80 a	5,19 a	7,10 c	12,80 b	19,90 c	0,55 a	3,46 a

Fonte: autores (2023).

Para a *Cordia trichotoma*, o crescimento de altura e diâmetro do coleto das mudas foi superior quando utilizado a adubação C1. A remoção do S (C1-S) e do B (C1-B) não alteraram o crescimento das mudas, não diferindo do uso do C1. Quando utilizado o C2, as mudas apresentaram um crescimento inferior ao C1 contudo, quando ocorre a remoção do Mg (C2-Mg) o crescimento em altura e diâmetro se elevam equiparando-se aos resultados do uso de C1. Houve uma redução geral do crescimento, acúmulo de massa seca e qualidade em *Cordia trichotoma* quando excluídos o nitrogênio (C1-N), potássio (C1-K), fósforo (C1-P), zinco (C1-Zn), equiparando as menores médias encontradas do controle (sem adubação). A exclusão da calagem (C1-cal) também resultou num decréscimo do potencial de crescimento para a espécie. Embora a exclusão de B (C1-B) e Mg (C2-Mg) não tenham afetado o crescimento, elas reduziram a alocação de matéria seca tanto na parte aérea quanto na raiz. É notável que a exclusão do enxofre (C1-S) tenha apenas afetado o acúmulo da matéria seca no sistema radicular em *Cordia trichotoma*. A ordem crescente de limitação de crescimento, em relação a altura, para espécie foi de N, P, K, Ca e Zn > Mg, B, S.

Para a espécie *Astronium graveolens*, a exclusão de N (C1-N), P (C1-P), B (C1-B) apresentaram maior limitação ao crescimento em altura. O uso da adubação C2 também reduziu de forma severa o crescimento em altura, havendo uma pequena resposta positiva na altura quando excluído o Mg (C2-Mg). A adubação C1 promoveu o maior crescimento em altura. As variáveis DC, índice de robustez, relação de biomassa da parte aérea e raiz e IQD, não apresentaram diferenças significativas entres os tratamentos estudados. O acúmulo de matéria seca global, MSPA, MSR e MST, obteve a maior média quando em omissão de enxofre (C1-S), com 25,00 g, 20,00 g e 45,00 g, respectivamente. A ordem crescente de limitação de crescimento, em relação a altura, para espécie foi de N, P, B, Ca > K, Zn > S.

## Discussão

### Limitação em N, P, K e Zn

De maneira geral, foi observado uma redução acentuada do crescimento, acúmulo de massa seca e qualidade das mudas quando excluídos o N (C1-N), o K (C1-K), o P (C1-P). A redução das características se dá pela limitada disponibilidade destes nutrientes que desempenham diversas funções metabólicas fundamentais da planta. O mesmo fenômeno, redução drástica do crescimento de plantas pela exclusão de N, P e K, também foram observados em diversas espécies, variando a intensidade. Em *Sesamum indicum* foi observado a menor altura quando omitido o nitrogênio (Souza et al. 2016), enquanto para *Handroanthus impetiginosus* e *Copaifera langsdorffii* a redução mais drástica ocorreu com a omissão de fósforo (Silva e Schlindwein 2018; Hoffmam et al 2019). Apesar do destaque para apenas um dos nutrientes em cada experimento citado, a omissão de N, P e K reduziram o crescimento, acúmulo de massa seca e qualidade em todos, corroborando com a importância dos mesmos.

O nitrogênio, atua na respiração, fotossíntese, síntese de proteínas controlando o ritmo de crescimento, tamanho e vigor das plantas (Marschner, 2012). Uma das grandes vantagens da utilização da espécie *Leucaena leucocephala*, é devido a sua capacidade de o fixar nitrogênio atmosférico por meio da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, o que reduz a necessidade de adubação do plantio da espécie com o nutriente. Segundo Araújo et al. (2001), a espécie é altamente exigente em nitrogênio, contudo, a adição de fertilizantes nitrogenados no seu plantio, promove a redução da simbiose com as bactérias, reduzindo a fixação de nitrogênio para o solo. Para a *Astronium graveolens*, o nitrogênio também é o nutriente que mais limita o crescimento da espécie em altura, e sua omissão causa clorose generalizada das folhas mais velhas, redução do perfilhamento, devido à

inibição de gemas, e senescência precoce das folhas (Sorreano, 2006).

O P desempenha um papel fundamental na respiração vegetal, no processo fotossintético, na síntese das proteínas, assim como no crescimento das raízes (Marschner, 2012). Contudo, apesar da sua importância para a *Cordia trichotoma*, foi encontrado por Cunha et al. (2021), que a dose de máxima eficiência técnica do nutriente aplicado em vaso foi de 221,43 mg dm<sup>-3</sup>, inferior a adubação sugerida por Malavolda et al (1960) de 300 mg dm<sup>-3</sup>. Contudo, em ensaios de adubação com NPK em campo, a espécie obteve maior crescimento quando foi aplicado o triplo da recomendação de adubação para eucalipto, o pode indicar que a espécie necessita de altas doses do nutriente para melhor crescimento (Antonelli et al. 2015).

Já para a *Leucaena leucocephala*, a espécie possui uma particularidade em relação ao fósforo, devido a sua possibilidade de se associar com fungos endomicorrízicos vesículo-arbusculares (FMVA) dos gêneros *Glomus* e *Gigaspora* os quais proporcionam a solubilização do fósforo no solo (Drumond e Ribaski, 2010), facilitando assim a sua absorção. O aumento das doses de fosforo aumenta o incremento em crescimento e em massa seca da espécie (Souza et al. 2021), contudo segundo Araújo et al. (2001), o aumento da dosagem aplicada de fósforo desfavorece a simbiose da planta com a micorriza.

O K atua na regulação da abertura estomática, no uso e eficiência da água, nos processos fotossintéticos, bem como na ativação enzimática, transporte de açúcares, movimento de nutrientes, síntese de proteínas e formação de amido (Zorb et al. 2014; Cavalcante et al. 2018; Marschner, 2012). Sorreano (2006), estudando a omissão de nutrientes em *Astromium graveolens*, observou que na omissão de K, as plantas apresentaram clorose e necrose das margens e pontas das folhas, inicialmente das mais velhas, diminuição da dominância apical e deficiência de ferro induzida.

A exclusão do zinco (C1-Zn) também afetou negativamente o crescimento em altura, e o acúmulo de matéria seca nas três espécies. Isso se deve pela importância do zinco como ativador enzimático, na formação de proteínas, formação de clorofila e alguns carboidratos (Marschner, 2012), afetando diretamente a fotossíntese e a formação de reservas. A deficiência em zinco, em *Astromium graveolens*, se expressou pela diminuição do tamanho de folhas jovens e o aparecimento de clorose internerval; internódios mais curtos formando rosetas de folhas no ápice dos ramos (Sorreano, 2006). Sintomas similares também foram encontrados por Munguambe et al. (2020), para *Acrocarpus franxinfolios*.

Pela inequívoca importância do N, P e K para o crescimento das plantas, a adubação deve fornecer de forma adequada estes nutrientes. Na

adubação o fosforo é o nutriente que mais limita a produção vegetal no Brasil, devido a sua baixa solubilidade em solos brasileiros e sua alta reatividade com os componentes do solo, tornando-se indisponível para a absorção das plantas (Fleitas et al. 2018). Outro limitante para a produção em solos tropicais é o baixo conteúdo trocável de potássio, pouca matéria orgânica e baixa capacidade de troca catiônica (Sette Junior et al. 2010).

#### *Leucaena leucocephala*

A *Leucaena leucocephala* possui como maior limitação para o N, afetando tanto o crescimento em altura como o acúmulo de matéria seca. O nitrogênio também foi o único elemento no qual afetou o crescimento em diâmetro para a espécie. Possivelmente devido a essa necessidade de nitrogênio é que a *Leucaena leucocephala* faz associações simbióticas com bactérias do gênero *Rhizobium* com a capacidade de e fixar nitrogênio atmosférico (Cubillos-Hinojosa et al. 2021).

Apesar da *Leucaena leucocephala* poder se associar as com bactérias do gênero *Rhizobium*, o principal nutriente que limita o crescimento da espécie é o nitrogênio. Ainda que esta associação não tenha sido o foco do trabalho, esse resultado pode ter ocorrido pela ausência ou a baixa associação das bactérias com o sistema radicular da espécie, fixando doses de nitrogênio insuficientes para suprir sua necessidade. Além da presença das bactérias do gênero no solo, existem grupos dentro do gênero que são mais eficientes na fixação do nitrogênio, Cubillos-Hinojosa et al. (2021), estudando isolados de rizóbios autóctones, na fixação biológica de nitrogênio em plantas de leucena no estado do RS, observaram que apenas 53% dos rizóbios encontrados, foram eficientes na formação de nódulos e fixação de nitrogênio. Outros fatores que poderiam ter limitado a associação das bactérias com o sistema radicular da espécie, segundo Júnior e Reis (2008), são as condições do solo, tais como baixa disponibilidade de água e solo com pH ácido, contudo, estes fatores foram controlados durante todo experimento, através da calagem, irrigação dos vasos, sempre que necessário.

O potássio foi o segundo elemento mais limitante no crescimento em altura e no acúmulo de matéria seca total. Contudo, foi observado que a *Leucaena leucocephala* apresentou tendência de extrair o K do solo em maiores quantidades, comparado com os outros nutrientes, no plantio em Luvisolo (Lourenço et al. 1993), ressaltando outra adaptação da espécie para garantir a sua adequada nutrição.

A omissão do enxofre (C1-S) não afetou diretamente o crescimento de *Leucaena leucocephala*, contudo, teve um efeito negativo no acúmulo de matéria seca de forma geral. O enxofre está presente em todas as proteínas atuando de forma a estabiliza-las, o elemento também é constituinte estrutural da membrana celular, sendo sua omissão

ligada a diminuição da síntese de proteínas e açúcares (Marschner, 2012). Dessa forma, a ausência do S causa diferentes distúrbios metabólicos, causando a redução do crescimento da planta, reduzindo consequentemente a produção de massa seca (Faquin, 2005). A redução da massa seca do caule e MSSR, na omissão de S também foi observada para *Tabebuia impetiginosa* (Souza et al. 2006) e para *Toona ciliata* (Moretti et al. 2011).

#### *Cordia trichotoma*

Os menores valores de altura e diâmetro do coleto para a *Cordia trichotoma* foram observados para a omissão de N (C1-N) e P (C1-P), e não diferiram da omissão de K (C1-K), Zn (C1-Zn) e Ca (C2-Ca). O cálcio tem função estrutural na membrana plasmática, sendo um dos principais elementos que controla a permeabilidade da mesma (Marschner, 2012), portanto a redução do crescimento pela omissão do cálcio pode estar associada a diminuição da eficiência fisiológica das plantas. Tais exigências nutricionais corroboram com a indicação de plantio de *Cordia trichotoma* em solos de média a alta fertilidade (Faganello et al. 2015). Doses de N, P, K até três vezes maiores que a recomendada para a adubação de eucalipto foram recomendadas para o plantio de *Cordia trichotoma* em Latossolo Vermelho Distroférico típico, em Dois Vizinhos-PR (Antonelli et al. 2015).

A omissão de enxofre e boro reduziram significativamente o acúmulo de matéria seca, em que a omissão do enxofre (C1-S) teve um efeito negativo no acúmulo de matéria seca do sistema radicular, possivelmente devido a diminuição das sínteses de proteínas e açúcares ligados a tecidos de reserva no sistema radicular, conforme discutido anteriormente. A omissão de boro (C1-B) reduziu, de forma geral, o acúmulo de matéria seca na parte aérea e no sistema radicular, apesar da função fisiológica do boro ainda ser discutível, o elemento contribui para a formação da hemicelulose na parede celular (Marschner, 2012), sendo parte do tecido que compõem a massa seca das plantas. Logo, sua omissão pode ter reduzido a espessura das paredes celulares e de forma indireta afetado a composição da massa seca global da planta. Embora o enxofre e o boro tenham provocado a redução do acúmulo de massa seca, essa redução não foi o suficiente para provocar efeitos na qualidade das plantas.

#### *Astronium graveolens*

O crescimento em altura para a espécie *Astronium graveolens* aparenta ser altamente exigente em nutrição, uma vez que a omissão de todos os nutrientes, propiciaram redução do crescimento da planta em relação ao tratamento C1 (67%), tal fato ressalta a importância da adubação para o plantio da espécie. Os elementos que apresentaram a maior redução do potencial de crescimento foram o N, P, B e o Ca, sendo todos elementos essenciais no processo de crescimento, atuando na formação enzimática e na constituição

das membranas, plasmática e parede celular, conforme discutidos anteriormente. Embora a adubação nitrogenada seja importante, a forma na qual é aplicada deve ser considerada, pois o uso de água residuária da suinocultura, rica em nitrogênio, não foi efetiva na adubação de *Astronium graveolens* (Pellá et al. 2018).

O acúmulo de matéria seca da parte aérea (MSPA) de *Astronium graveolens* apresenta as mesmas limitações encontradas para o crescimento em altura, sendo uma espécie altamente exigente nutricionalmente. No entanto, foi observado um comportamento anômalo para o acúmulo de matéria seca (MSPA, MSR e MST) quando o enxofre foi omitido (C1-S), sendo estes acúmulos superiores a adubação completa (C1). Esse fenômeno contradiz a hipótese de que a deficiência em enxofre resulta em baixa absorção de nitrogênio proposta por Epstein e Bloom (2006), uma vez que no tratamento C1-S o crescimento manteve-se normal e na omissão de nitrogênio (C1-N) o crescimento foi reduzido. Ademais quando se retira o efeito de C1-S, não foi possível quantificar diferenças significativas dos demais nutrientes para MSR, esses resultados, dessa forma, evidenciam a baixa necessidade nutricional do enxofre para a espécie.

#### *Efeito da calagem*

A *Leucaena leucocephala*, apresentou um comportamento diferente das demais espécies, com ausência da resposta em crescimento, acúmulo de matéria seca e qualidade quanto ao uso da calagem, o que indica a menor necessidade da correção da acidez do solo para a espécie. Esses achados corroboram com a classificação de certos plantios da espécie como tolerantes a toxidez por alumínio no solo (Silva, 1987). Contudo, a microbiota do solo é desfavorecida em solos ácidos (Neto et al. 2001), sendo, portanto, a calagem uma forma de manter o pH do solo na faixa ótima de 6 a 7, benéfica para os fungos endomicorrízicos vesículo-arbusculares (FMVA) dos gêneros *Glomus* e *Gigaspora* (Drumond e Ribaski, 2010) que fazem associações com a *Leucaena leucocephala*. Considerando o fornecimento de cálcio e magnésio, a omissão do cálcio (C2-Ca) resultou em um menor acúmulo médio de matéria seca total. A aplicação do C2 resultou em uma diminuição da massa seca das mudas, sendo a aplicação da calagem (C1) mais eficiente, corroborando com a indicação de Tirloni et al. (2011) para a aplicação de calagem em plantios de campo como forma de incorporar Ca e Mg.

Para as espécies *Cordia trichotoma* e *Astronium graveolens*, a correção do pH do solo proporciona melhora no crescimento das plantas, o que indica que estas espécies possuem certa limitação de crescimento em solos ácidos. Em geral, os solos de regiões quentes e úmidas são ácidos e podem apresentar teores elevados de alumínio e hidrogênio e manganês (Silva et al. 2020), os quais

são fitotóxicos as plantas, reduzindo o crescimento do sistema radicular e dificultando a absorção de água e nutrientes (Neto et al. 2001). Os solos ácidos apresentam baixa disponibilidade dos macros e micronutrientes, devido à baixa solubilidade desses elementos no solo em condições de pH baixo e a lixiviação dos cátions essenciais a planta, cálcio, magnésio e potássio (Sinsabaugh et al. 2008; Silva et al. 2020; Nolla et al. 2020).

Uma das formas de corrigir a acidez do solo é realizando a calagem, com o uso do corretivo agrícola calcário, o qual apresenta baixo custo e possui fácil aplicação, na camada arável do solo (Maltoni et al. 2020). A prática de calagem apresenta uma série de benefícios, como a redução da toxidez por hidrogênio e alumínio, aumento da mineralização da matéria orgânica, da microbiota e da disponibilidade de nutrientes no solo, além da incorporação de cálcio e magnésio no solo (Neto et al. 2001; Kunhikrishnan, et al. 2016; Abalos, et al. 2020).

Em conclusão, os trabalhos sobre requerimentos nutricionais, como este, são muito importantes e escassos na literatura, uma vez que são concentrados para espécies de maior valor econômico. Estes são os primeiros resultados em busca de uma correta recomendação de adubação para as espécies florestais, em programas de recuperação de áreas degradadas ou em plantios produtivos. De modo geral, a ausência dos nutrientes, proporcionou o menor crescimento das espécies estudadas, além disso, a ordem crescente de limitação de crescimento em relação a altura para *Leucaena leucocephala* foi de  $N > K > P$ ,  $Zn > Ca$ ,  $Mg$ ,  $B$ ,  $S$ , para a *Cordia trichotoma* foi de  $N$ ,  $P$ ,  $K$ ,  $Ca$  e  $Zn > Mg$ ,  $B$ ,  $S$ . Já para a espécie *Astronium graveolens* a ordem de limitação dos nutrientes foi de  $N$ ,  $P$ ,  $B$ ,  $Ca > K$ ,  $Zn > S$ .

Além disso, recomenda-se a correção do solo para *Cordia trichotoma* e *Astronium graveolens*, para aumentar o pH do solo e aumentar a eficiência de absorção dos nutrientes e consequente crescimento das plantas. Apesar da *Leucaena leucocephala*, ter baixa necessidade de calagem, é interessante aplicá-la com o objetivo de suprir a demanda de cálcio e magnésio do solo, corrigir a acidez promovida pelo alumínio e hidrogênio, aumentar a CTC do solo e auxiliar na absorção dos nutrientes (Rocha et al. 2008).

### Conclusão

A omissão dos nutrientes apresentou limitação no crescimento das plantas, em geral as três espécies, responderam negativamente em crescimento na ausência de  $N$ ,  $P$ ,  $K$  e  $Zn$ , quando comparadas ao tratamento C1. A ordem de limitação nutricional, em relação a altura para a *Leucaena leucocephala*, foi de  $N > K > P$ ,  $Zn > Ca$ ,  $Mg$ ,  $B$ ,  $S$ , para *Cordia trichotoma* foi de  $N$ ,  $P$ ,  $K$ ,  $Ca$  e  $Zn > Mg$ ,  $B$ ,  $S$ , e para o *Astronium graveolens* foi de  $N$ ,  $P$ ,

$B$ ,  $Ca > K$ ,  $Zn > S$ . Ademais, a aplicação da calagem é recomendada em *Cordia trichotoma* e *Astronium graveolens*, visto que ambas têm um crescimento limitado, em altura e acúmulo de matéria seca, quando o  $Ca$  e o  $Mg$  são omissos. Contudo para a espécie *Leucaena leucocephala*, a omissão da calagem não prejudicou o crescimento das plantas, indicando uma certa tolerância à acidez do solo.

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

### Referências

Andrade JKB, Oliveira E, Lima CR, Calegari L, Costa Júnior DS (2015) Productive potential of species *Bambusa vulgaris* Schrad. charcoal grown in Timon, Ma. *Revista Verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável*, 10(3):29-33. doi: 10.18378/rvads.v10i3.3619.

Batalha LAR, Colodette JL, Gomide JL, Barbosa LCA, Maltha CRA, Gomes FJB (2012) Dissolving pulp production from bamboo. *Bioresources*, 7(1): 640-651. doi: 10.15376/biores.7.1.0640-0651.

Abalos D, Liang Z, Dorsch P, Elsgaard L (2020) Trade-offs in greenhouse gas emissions across a liming-induced gradient of soil pH: Role of microbial structure and functioning. *Soil Biology and Biochemistry*, 150: 108006. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108006>.

Alvarez VVH, Fonseca DM (1990). Definition of phosphorus levels to determine the maximum phosphate adsorption capacity and the response curves for greenhouse experiments. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 14: 49-55.

Antonelli PV, Brun EJ, Santos MD, Sartor LR, Brun F (2015) Desenvolvimento de *Cordia trichotoma* em função da adubação, em sistema silvipastoril no Sudoeste do Paraná-Brasil. *Ecologia e Nutrição Florestal*, 3(3), 59-70. doi [10.5902/2316980X19054](https://doi.org/10.5902/2316980X19054).

Araújo D, Sebbenn AM, Zanatta ACS, Moraes E, Moraes MLT, Freitas MLM (2014) Variação genética para caracteres silviculturais em progênies de polinização aberta de *Astronium graveolens* jacq. (Anacardiaceae). *Cerne*, 20(1): 61-68. doi [10.1590/S0104-77602014000100008](https://doi.org/10.1590/S0104-77602014000100008).

Araújo, ASF, Burity HA, Lyra CCP (2001) Influência de diferentes níveis de nitrogênio e fósforo em leucena inoculada com *Rhizobium* e fungo micorrizico arbuscular. *Revista ecossistema* 26(1):35-38.

- Brançalion PHS, et al. (2012) Silvicultura de espécies nativas para viabilização econômica da restauração florestal na Mata Atlântica. In: Martins SV (Ed.). *Restauração Ecológica de Ecossistemas Degradados*. Viçosa: UFV, 212-239p.
- Brun EJ (2012) Avaliação nutricional de espécies nativas utilizadas na arborização do campus da Universidade Federal de Santa Maria-RS. *Revsbau*, 7 (1): 89-111. doi: 10.5380/-revsbau.v7i1.66607.
- Carlos, L. et al. (2014) Crescimento e nutrição mineral de mudas de pequi sob efeito da omissão de nutrientes. *Ciência Florestal*, 24(1): 13-21. doi 10.5902/1980509813318.
- Carvalho PER (2003) *Espécies arbóreas brasileiras*. Colombo: Embrapa Florestas; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica v. 1.
- Cavalcante ACP, Cavalcante LF, Cavalcante AG, Bertino AMP, Ferreira NM (2018) Physiology of *Paluma guava* plants fertilized with potassium and calcium. *Idesia*, 36:71-80. doi: 10.4067/S0718-34292018005000503.
- Costa CA, Alves DS, Fernandes LA, Martins ER, Souza IGB, Sampaio RA, Lopes PSN (2007) Nutrição mineral da fava d'anta. *Horticultura Brasileira*, 25: 024-028. doi 10.1590/S0102-05362007000100006
- Cubillos-Hinojosa JG, Silva-Aaraujo DA, Sá SD (2021) Rizóbios autóctones eficientes na fixação de nitrogênio em *Leucaena leucocephala* no Rio Grande do Sul, Brasil. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(1): 128-138.
- Cunha FL, Almeida RS, Diniz PC, Campos VA, Gonzaga MD, Nelson V (2021). Application of increasing doses of phosphor in *Cordia trichotoma* seedlings. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal*, 64:1-5.
- Dickson A, Leaf A, Hosner JF (1960) Quality appraisal of white spruce and white: pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*, 36(1): 10-13. doi [10.5558/tfc36010-1](https://doi.org/10.5558/tfc36010-1).
- Donagema GK, Campos DVB, Calderano SB, Teixeira WG, Viana JHM (2011) Manual de métodos de análise do solo. 2ª ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- Drumond MA, Ribaski J (2010) *Leucena (Leucaena leucocephala): leguminosa de uso múltiplo para o semiárido brasileiro*. Colombo: Embrapa Florestas. 8p. (Comunicado Técnico, 142).
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). 2017. *Manual of Soil Analysis Methods - Manual de Métodos de Análise de Solo*. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, Brazil (in Portuguese).
- Epstein E, Bloom A Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Londrina: Planta, 2006. 401p
- Faganello LR et al. (2015) Efeito dos ácidos indolbutírico e naftalenoacético no enraizamento de estacas semilenhosas de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud. *Ciência Florestal*, 25(4): 863-871. doi [10.5902/1980509820584](https://doi.org/10.5902/1980509820584).
- Ferreira DF (2014) Sisvar: guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*, 38(2): 109-112. doi 10.1590/S1413-70542014000200001.
- Fleitas AC, Paiva LM, Fernandes HJ, Duarte CF, Domingues Falcão KRS, Biserra TT (2018) Características morfogênicas do capim-convert HD364® adubado com fontes de fósforo de diferentes solubilidades. *Agrarian*. 11: 59-67.
- Freire JC. et al. (1979) Métodos de aplicação de adubos na formação de mudas de *Eucalyptus grandis* F. Hill ex Maiden. *Silvicultura*, São Paulo, 14: 385-386.
- Hoffimam WR, DA Silva AA, Nogueira DWR, De Andrade PG (2019) Resposta a adubação de mudas de copaíba na omissão de nutrientes em solução nutritiva. *Scientia Naturalis*, 1(5).
- Ibá. Indústria Brasileira de Árvores. *Relatório Ibá 2020*. 100 p. Disponível em: <[http://www.iba.org/shared/iba\\_2020\\_pt.pdf](http://www.iba.org/shared/iba_2020_pt.pdf)>. Acesso em: 10 Ago. 2020.
- Junior PIF, Reis VM (2008). Algumas limitações à fixação biológica de nitrogênio em leguminosas. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2008 (Série Documentos nº 252).
- Kunhikrishnan A, Thangarajan R, Bolan NS, Xu Y, Mandal S, Gleeson DB, Seshadri B, Zaman M, Barton L, Tang C, Luo J, Dalal R, Ding W, Kirkham MB, Naidu R (2016) Functional relationships of soil acidification, liming, and greenhouse gas flux. *Advances in Agronomy*, 139:1-71. doi: 10.1016/bs.agron.2016.05.001.