

ACIDEZ DO SOLO, CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO MINERAL DE ALGUMAS ESPÉCIES ARBÓREAS, NA FASE DE MUDA

Antonio Eduardo Furtini Neto¹, Álvaro Vilela de Resende², Fabiano
Ribeiro do Vale¹, Valdemar Faquin¹, Luiz Arnaldo Fernandes¹

RESUMO: Buscando informações sobre os efeitos de fatores relacionados à acidez do solo no comportamento de mudas das espécies florestais cássia verrugosa (*Senna multijuga*), ipê mirim (*Stenolobium stans*), angico-do-cerado (*Anadenanthera falcata*) e cedro (*Cedrela fissilis*), conduziu-se um ensaio em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras durante o período de Julho a Dezembro de 1995. As mudas foram cultivadas em vasos contendo um latossolo vermelho escuro submetido aos seguintes tratamentos: testemunha; fornecimento de 12 mmol_c Ca . dm⁻³; fornecimento de 3 mmol_c Mg dm⁻³; elevação do pH sem aplicação de Ca e Mg; calagem para pH=6,0 com CaCO₃ + MgCO₃; e aplicação de 15 mmol_c Al.dm⁻³ de solo. Aos 180 dias de cultivo, avaliou-se o diâmetro do caule e a altura das plantas e determinou-se a matéria seca das raízes, da parte aérea e total. Foram determinados os conteúdos totais de Ca, Mg, K e P nas plantas e calculadas as eficiências de utilização destes nutrientes pelas espécies nos diversos tratamentos. As espécies florestais apresentaram respostas distintas aos tratamentos, para as variáveis estudadas. De maneira geral, o tratamento que recebeu Al limitou sensivelmente o desenvolvimento de todas as espécies, enquanto a calagem favoreceu o crescimento em altura, diâmetro e produção de biomassa. As maiores produções de matéria seca foram obtidas nos tratamentos com calagem, Ca e Mg, que favoreceram a aquisição e a utilização dos nutrientes. Ipê mirim e cedro se mostraram mais sensíveis à acidez, porém ipê mirim e cássia verrugosa foram as espécies mais responsivas à correção do solo.

PALAVRAS-CHAVE: solo ácido, toxidez de alumínio, calagem, grupos ecológicos, espécies florestais.

SOIL ACIDITY, GROWTH AND MINERAL NUTRITION OF SOME TREE SPECIES AT SEEDLING PHASE

ABSTRACT: In order to obtain information about the effects of soil acidity-related factors on the behavior of the seedlings of the forest species *Senna multijuga*, *Stenolobium stans*, *Anadenanthera falcata* and *Cedrela fissilis*, an assay was carried out under greenhouse conditions at the Soil Science Department of the Federal University of Lavras, Minas Gerais State, Brazil, from July to December, 1995. The seedlings were grown in pots containing a Brazilian Oxisol submitted to the following treatments: control; furnishment of 12 mmol_c Ca . dm⁻³; furnishment of

¹ Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras - UFLA; Caixa Postal 37, CEP 37200-000, Lavras-MG

² Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Goiás - CAJ/UFG; Caixa Postal 03, CEP 75800-000, Jataí-GO.

3 mmol_c Mg . dm⁻³; raise of pH without Ca and Mg application; liming to pH=6,0 with CaCO₃ + MgCO₃; and application of 15 mmol_c Al.dm⁻³. After growing during 180 days, stem diameter, plant height and root, shoot and total dry matter production were evaluated. Plant Ca, Mg, K e P contents and nutrient utilization efficiency by the species in each treatment were determined. The forest species showed different responses to treatments. In general, aluminium treatment strongly reduced the development of all species while liming improved the growth as evaluated as height, stem diameter and biomass. Higher dry matter production was obtained by liming, Ca and Mg treatments, which provided greater nutrient acquisition and utilization efficiency by plants. *Stenolobium stans* and *Cedrela fissilis* were the more sensitive species to acid soil conditions whereas *Stenolobium stans* and *Senna multijuga* were the most liming responsive ones.

KEY WORDS: acid soil, aluminium toxicity, liming, ecologic groups, forest species.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda de tecnologia para exploração do potencial de essências florestais nativas, exige informações sobre a silvicultura de espécies autóctones nos diversos campos do conhecimento e, dentre eles, o da nutrição mineral. Em função da grande variabilidade genética observada nas florestas, e face à heterogeneidade dos solos das regiões tropicais, são ainda incipientes os dados disponíveis sobre o comportamento destas espécies florestais no que diz respeito aos requerimentos nutricionais e a sua capacidade de adaptação a condições ambientais distintas.

As características físicas e químicas do solo estão entre os principais fatores que condicionam o desenvolvimento da vegetação, daí a ocorrência natural de diferentes formações florestais, mesmo em regiões homogêneas quanto aos demais fatores de ambiente. Na região dos cerrados que cobre boa parte do território brasileiro, por exemplo, observa-se um gradiente de exuberância da vegetação, que pode ser dividida em quatro classes em ordem decrescente de densidade e porte arbóreos: cerrado, cerrado, campo cerrado e campo sujo. Os teores de C, N, Ca, Mg, P, K,

matéria orgânica e índice pH diminuem do cerrado para o campo sujo, o contrário ocorrendo para o Al cuja saturação varia de 35 a 58% do ambiente de maior para o de menor fertilidade (Goodland e Ferri, 1979).

No Brasil, extensas áreas, notadamente na região do cerrado, apresentam solos de reação ácida e com baixa disponibilidade de nutrientes. A presença de alumínio em concentrações tóxicas é, provavelmente, o fator mais limitante ao crescimento vegetal nestes solos (Kamprath e Foy, 1985), embora também o baixo pH (Johnson e Wilkinson, 1993; Sansonowicz e Smith, 1995), a deficiência de cálcio (Ritchey, Silva e Costa, 1982; Smyth e Cravo, 1992; Vale et al., 1996), de magnésio (Tan et al, 1992; Tan e Keltjens, 1995), ou de fósforo (Naidu et al., 1990a; Mclaughlin e James, 1991) possam também ser responsáveis pelo menor desenvolvimento das plantas em solos ácidos.

Os programas de revegetação visando a recuperação de áreas degradadas e proteção de mananciais de água preconizam o plantio de espécies nativas, tendo em vista restabelecer condições ecológicas semelhantes às originalmente existentes. Não raramente são aproveitadas áreas marginais para a agricultura convencional, nas quais o solo apresenta restrições químicas ao crescimento

normal das plantas, requerendo um condicionamento em termos de fertilidade através da aplicação de adubos e corretivos.

Embora sejam constatadas sensíveis variações quanto ao grau de sensibilidade às limitações químicas dos solos, uma vez que as espécies florestais nativas reagem de forma diferenciada à correção da acidez (Vale et al., 1996) e aumento na disponibilidade de nutrientes (Silva et al., 1997), a ocorrência de solos ácidos e/ou com baixos níveis de fertilidade são entraves que têm prejudicado a aquisição de nutrientes e dificultado o estabelecimento das mudas em condições de campo.

Adicionalmente, a economicidade da calagem e fertilização nestes solos tem revelado a conveniência de se racionalizar o uso destes insumos, conforme as exigências nutricionais ou a magnitude das respostas das espécies.

Objetivou-se, neste estudo, investigar os fatores limitantes ao crescimento inicial de quatro espécies florestais em solo ácido, bem como avaliar, para estas espécies, a influência da acidez na aquisição e utilização de nutrientes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de Julho a Dezembro de 1995, em condições de casa de vegetação, no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras/UFLA. Utilizou-se amostra de um Latossolo Vermelho - Escuro, distrófico, argiloso, fase cerrado tropical subcaducifólio, relevo suave ondulado, proveniente da área de influência do reservatório da hidrelétrica de Camargos/CEMIG, no município de São

Sebastião da Vitória - MG, na qual aplicaram-se os seguintes tratamentos: a) solo natural como testemunha (**TEST**); b) fornecimento de 12 mmol_c Ca . dm⁻³, sem a elevação do pH (**CAL**); c) fornecimento de 3 mmol_c Mg . dm⁻³, sem a elevação do pH (**MAG**); d) elevação do pH utilizando KOH e NH₄OH, sem aumento nos teores originais de Ca e Mg (**OH**); e) calagem para pH=6.0 pelo método da curva de incubação, fornecendo Ca e Mg na relação de 4:1 (**CALAG**) e f) adição de 15,0 mmol_c Al.dm⁻³ visando a elevação da saturação por alumínio (**ALUM**). Efetuou-se, em todos os tratamentos, uma fertilização básica com 50 mg N; 250 mg P; 100 mg K; 50 mg S; 0,8 mg B; 1,3 mg Cu; 1,5 mg Fe; 3,6 mg Mn; 0,15 mg Mo; e 4,0 mg Zn.dm⁻³ de solo. O efeito desejado para cada tratamento e a fertilização básica foram obtidos pelo uso de reagentes p.a.. A caracterização química e física do solo após a aplicação dos tratamentos é apresentada na Tabela 1.

As espécies florestais estudadas foram: cássia verrugosa [*Senna multijuga* (L.C. Rich) I.&B.]; ipê mirim [*Stenolobium stans* (Jun.) Seem.]; angico-do-cerrado [*Anadenanthera falcata* (Benth.) Speg.]; e cedro [*Cedrela fissilis* Vell.]. As três primeiras espécies se enquadram como pertencentes ao grupo de plantas pioneiras, enquanto o cedro é tido como espécie secundária. Para cada espécie, cerca de dez sementes foram colocadas para germinar diretamente nos vasos com os tratamentos, deixando-se, após o desbaste, duas plantas por vaso. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 4x6 (4 espécies e 6 tratamentos), com quatro repetições, e a parcela experimental foi um vaso de 3 dm³ de solo com duas plantas.

Tabela 1

Análise química e física do solo após a aplicação dos tratamentos⁽¹⁾.*Chemical and physical analyses of soils after treatments.*

Características	TEST	CAL	MAG	OH	CALAG	ALUM
pH	5,2	5,1	5,4	5,7	6,3	4,1
P (mg.dm ⁻³)	11	9	8	10	9	10
K (mg.dm ⁻³)	97	97	101	95	101	87
Ca (mmol _c dm ⁻³)	4	12	5	4	18	4
Mg (mmol _c dm ⁻³)	1	2	5	1	6	2
Al (mmol _c dm ⁻³) “	2	1	2	2	1	5
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	45	45	45	50	32	50
S (mmol _c dm ⁻³)	7	16	13	7	27	8
t (mmol _c dm ⁻³)	9	17	15	9	28	13
T (mmol _c dm ⁻³)	52	61	58	57	59	58
m (%)	22	6	13	22	4	38
V (%)	13	26	22	12	46	14
Carbono (g.kg ⁻¹)	14	-	-	-	-	-
Mat. Org. (g.kg ⁻¹)	25	-	-	-	-	-
Areia (g.kg ⁻¹)	170	-	-	-	-	-
Silte (g.kg ⁻¹)	230	-	-	-	-	-
Argila (g.kg ⁻¹)	600	-	-	-	-	-

⁽¹⁾Análises realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo/UFLA com base nos métodos de Vettori (1969), com modificações feitas pela Embrapa (1979) e Camargo et al. (1986): pH= em água, relação 1:2.5; P, K= extrator Melich-1; Ca, Mg, Al= extrator KCl 1N; Carbono= método de Walkley e Black.

Durante o período experimental, em todos os vasos foram efetuadas duas adubações nitrogenadas com NH₄NO₃ em cobertura, totalizando 60 mg N.dm⁻³. A umidade do solo foi mantida em torno de 60% do volume total de poros (Freire et al., 1980) por meio de irrigações diárias com água deionizada.

Aos 180 dias de cultivo, avaliou-se o diâmetro do caule e a altura das plantas, que foram colhidas e secas em estufa a 65-70 °C até peso constante, e determinado o peso da matéria seca das raízes (MSRA), da parte aérea (MSPA) e total (MST) das espécies nos diversos tratamentos. Calculou-se a produção relativa de matéria seca total (PR),

em função dos tratamentos, dentro de cada espécie, considerando-se o tratamento com calagem (CALAG) como 100%, uma vez que para a maioria das espécies a produção de biomassa neste tratamento foi superior aos demais.

Após a digestão nítrico-perclórica, foram analisados os teores de Ca, Mg, K e P na matéria seca da parte aérea e raízes (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1989) e determinados os seus conteúdos totais (CT) na matéria seca (raiz + parte aérea). Calcularam-se, para cada espécie, em função dos tratamentos, as eficiências de utilização (EU) dos nutrientes (Siddiqi e Glass, 1981)

através da expressão $EU=(MST)^2.CT^{-1}$. Os dados foram submetidos à análise de variância, e através do teste de Tukey ($p<0,05$) foram determinadas as diferenças entre os tratamentos para os parâmetros avaliados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As espécies florestais apresentaram respostas distintas aos tratamentos, para os parâmetros vegetativos avaliados. De maneira geral, o tratamento ALUM limitou sensivelmente o desenvolvimento de todas as espécies, enquanto a calagem (CALAG) favoreceu o crescimento em termos de altura, diâmetro e produção de biomassa (Tabela 2). Estes dois tratamentos, em comparação aos demais, induziram amplas alterações nas condições de acidez do solo original (TEST), notadamente nas saturações por bases e por alumínio e no pH (Tabela 1).

As causas da baixa capacidade produtiva dos solos ácidos podem estar relacionadas à atuação isolada ou ao efeito conjunto de diversos fatores, como a toxidez de certos elementos presentes em concentrações excessivas na solução do solo e/ou a deficiência de alguns nutrientes. O alumínio em altas concentrações resulta em toxidez, inibindo o crescimento das plantas e refletindo principalmente num menor desenvolvimento do sistema radicular (Kamprath e Foy, 1985; Foy, 1988; Taylor, 1991; Delhaize e Ryan, 1995). Mudanças no pH e/ou no alumínio trocável podem ter grande efeito na atividade do alumínio (Marschner, 1986; Rending e Taylor, 1989), sendo que o pH crítico depende da cultura e do teor de alumínio no solo (Baker, 1976). Conforme Foy (1976), a toxidez de alumínio pode às vezes diminuir substancialmente a

produção das culturas sem apresentar sintomas evidentes na parte aérea da planta. Segundo este autor, a coloração das raízes e o grau de ramificação parecem ser os melhores indicadores da injúria por alumínio. No presente estudo, o tratamento no qual foi aumentada a saturação por alumínio (ALUM) implicou em redução na matéria seca produzida tanto nas raízes quanto na parte aérea das espécies florestais, refletindo também na redução da altura e do diâmetro do caule de todas as espécies (Tabela 2).

Quando as espécies foram cultivadas no solo em que se adicionou alumínio (ALUM), houve uma tendência de menor absorção de Ca, Mg, K e P. Nestas condições, a eficiência de utilização destes nutrientes pelas plantas foi também inibida (Tabela 3), resultando em redução acentuada na produção relativa de matéria seca total (PR) (Tabela 2). Ressalta-se que no tratamento com fornecimento de alumínio, os teores de cálcio, magnésio e potássio eram semelhantes aos do tratamento testemunha (TEST) (Tabela 1). Esta situação corrobora estudos que têm relatado como conseqüências da toxidez de alumínio a inibição da absorção de cátions (Huang e Bachelard, 1993; Kuhn, Bauch e Schröder, 1995) e da absorção e translocação de fósforo pelas plantas (Jones e Fox, 1978; Naidu et al., 1990b).

O baixo pH, isoladamente, pode ser responsável por prejuízos diretos ao desenvolvimento das plantas em decorrência do excesso de H^+ na solução do solo (Johnson e Wilkinson, 1993; Sansonowicz e Smith, 1995). Todavia, há evidências de que, em solos ácidos, fatores outros além do alumínio e do pH podem estar restringindo o adequado desenvolvimento das plantas. O pH, indi-

Tabela 2

Altura, diâmetro, produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), das raízes (MSRA), total (MST) e produção relativa de matéria seca total (PR) das espécies florestais em função dos tratamentos.

Height, diameter and dry matter production of above ground parts (MSPA), roots (MSRA) and total (MST) and relative production of total dry matter (PR) of the forest species in each treatment.

Espécie	Tratamento	Altura	Diâmetro	MSPA	MSRA	MST	PR ⁽¹⁾
		-----cm-----	-----g.vaso ⁻¹ -----				(%)
Cássia Verrugosa	TEST	44	0,7	22,6	8,2	30,8	71
	CAL	50	0,8	28,6	8,4	37,0	85
	MAG	48	0,8	27,7	8,1	35,7	83
	OH	47	0,7	20,5	6,4	26,9	62
	CALAG	49	0,8	32,4	10,7	43,1	100
	ALUM	39	0,6	14,3	4,7	19,0	44
Ipê Mirim	TEST	19	0,4	3,0	1,6	4,6	18
	CAL	51	0,7	16,7	5,8	22,5	92
	MAG	43	0,7	13,0	3,7	16,7	68
	OH	18	0,4	2,6	1,1	3,7	15
	CALAG	48	0,7	17,4	6,9	24,3	100
	ALUM	2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Angico-do- Cerrado	TEST	18	0,3	6,1	1,5	7,7	82
	CAL	22	0,3	9,4	1,7	11,1	119
	MAG	18	0,3	5,9	1,3	7,1	77
	OH	19	0,3	6,7	1,5	8,1	88
	CALAG	22	0,3	7,9	1,3	9,2	100
	ALUM	7	0,2	2,0	0,7	2,7	28
Cedro	TEST	30	1,2	19,4	6,1	25,5	81
	CAL	26	1,1	18,9	5,6	24,5	77
	MAG	26	1,1	16,3	7,2	23,5	74
	OH	26	1,0	14,4	4,0	18,4	59
	CALAG	29	1,2	23,0	8,5	31,5	100
	ALUM	16	0,7	4,2	1,3	5,5	17
C.V. (%)		14	15	23	41	25	-
DMS (esp. vs. trat., p<0,05)		9	0,2	6,6	3,7	9,4	-

⁽¹⁾ PR= produção relativa de matéria seca total, considerando o tratamento com calagem como 100%.

retamente, influencia o desenvolvimento por interferir na disponibilidade de nutrientes no solo (Rending e Taylor, 1989); a deficiência de fósforo pode, em alguns casos, agravar os problemas de acidez do solo (Naidu et al., 1990a; McLaughlin e James, 1991); baixos teores de magnésio levam à menor produção

de matéria seca (Tan et al., 1992; Tan e Keltjens, 1995) e a deficiência de cálcio limita o crescimento do sistema radicular (Smyth e Cravo, 1992; Vale et al., 1996); podendo ser mais restritiva que a toxidez de alumínio (Ritchey, Silva e Costa, 1982).

Tabela 3

Conteúdo total (CT) e eficiência de utilização (EU) de Ca, Mg, K e P nas espécies em função dos tratamentos e coeficientes de correlação (r) de CT e EU com MST produzida.

Total content (CT) and utilization efficiency (EU) of Ca, Mg, K and P for the species resulting from treatments, and correlation coefficients (r) of CT and EU with MST production.

Espécie	Tratamento	Ca		Mg		K		P	
		CT mg/vaso ⁻¹	EU g ² MST.mg ⁻¹ Ca	CT mg/vaso ⁻¹	EU g ² MST.mg ⁻¹ Mg	CT mg/vaso ⁻¹	EU g ² MST.mg ⁻¹ K	CT mg/vaso ⁻¹	EU g ² MST.mg ⁻¹ P
Cássia Verrugosa	TEST	125	7,7	26	36,4	207	4,6	39	24,3
	CAL	405	3,4	23	58,4	229	6,0	43	31,5
	MAG	122	10,5	73	17,5	258	5,0	42	30,2
	OH	129	5,8	29	25,9	213	3,5	42	18,0
	CALAG	520	3,6	60	30,9	186	10,1	46	39,9
	ALUM	106	3,4	18	19,9	174	2,1	30	11,9
Ipê mirim	TEST	26	0,8	10	2,2	70	0,3	9	2,3
	CAL	194	2,6	30	17,0	341	1,5	38	13,1
	MAG	60	4,7	51	5,4	253	1,1	32	8,6
	OH	25	0,6	7	1,9	65	0,2	7	1,9
	CALAG	192	3,1	52	11,6	258	2,3	31	19,0
	ALUM	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,5
Angico do Cerrado	TEST	36	1,7	9	6,4	83	0,7	19	3,1
	CAL	105	1,2	10	12,1	104	1,2	24	5,0
	MAG	30	1,7	17	2,9	98	0,5	15	3,2
	OH	41	1,6	12	5,3	104	0,7	25	2,7
	CALAG	104	0,8	16	5,2	94	0,9	18	4,8
	ALUM	13	0,5	3	1,9	30	0,2	4	1,9
Cedro	TEST	129	5,1	29	22,2	309	2,1	47	13,9
	CAL	335	1,8	26	22,6	318	2,0	46	13,1
	MAG	99	5,9	76	7,6	312	1,9	45	12,4
	OH	100	3,5	23	14,8	240	1,4	35	9,5
	CALAG	373	2,7	78	12,7	268	3,8	41	24,1
	ALUM	33	0,9	6	4,7	112	0,3	10	3,1
r (p<0.01)		0,80	0,72	0,74	0,79	0,75	0,89	0,89	0,96
C.V. (%)		24	41	31	35	21	40	25	33
DMS (esp.vs.trat., p<0,05)		69	3	19	10	80	2	15	8

Uma reduzida disponibilidade de fósforo pode ser responsável pelo inadequado desenvolvimento das plantas em solos ácidos das regiões tropicais. Em muitas áreas, os solos possuem elevada capacidade de fixação de P e a deficiência do nutriente é o mais importante fator nutricional que restringe o crescimento vegetal (Sanchez e Uehara, 1980; Sanchez e Salinas, 1981). No caso do presente trabalho, o latossolo utilizado apresenta pronunciada capacidade de adsorção de fosfatos (Chagas, 1994), fenômeno cuja magnitude do efeito limitante

para a vegetação é, em parte, condicionada pelo nível de acidez do solo.

Neste sentido, a prática da calagem tem sido apontada como forma de aumentar a disponibilidade de fósforo nestes solos (Sanchez e Uehara, 1980). Naidu et al. (1990a,b) verificaram que as causas do menor crescimento de *Leucaena leucocephala* em condições de baixo pH estavam relacionadas à toxidez de Al e/ou à deficiência de P induzida por alumínio. No trabalho citado, a calagem promoveu aumento na disponibilidade de P, obtendo-se

alta significância da correlação entre fósforo na planta e teor do nutriente no solo. A resposta em produção seguiu uma curva similar à concentração de P na parte aérea. Os autores concluíram que a maior produção de matéria seca, quando se elevou o pH do solo, foi provavelmente devida ao aumento da disponibilidade do fósforo aplicado e à redução na atividade do alumínio. Gonçalves et al. (1986) constataram que a disponibilidade de fósforo para mudas de *Eucalyptus grandis* em solos da região do cerrado foi aumentada com a calagem, encontrando-se correlação significativa entre o conteúdo de P na parte aérea e a produção de matéria seca com os teores de P no solo. Embora o teor de fósforo disponível no solo não tenha sido influenciado pelos tratamentos (Tabela 1), o conteúdo total deste nutriente nas espécies ora estudadas foi menor quando se forneceu alumínio (ALUM) (Tabela 3), tratamento que provocou o aumento da saturação deste íon e o decréscimo do pH do solo (Tabela 1).

Comparando-se o comportamento das espécies florestais nos tratamentos TEST, CAL, MAG e OH, observa-se que mesmo sob condições de acidez moderada (pH >5,0), o fornecimento de cálcio (CAL) ou de magnésio (MAG) favoreceu o crescimento da maioria das espécies, mostrando efeito comparável ao da calagem (CALAG) (Tabelas 1 e 2). As maiores produções de matéria seca total foram obtidas nos tratamentos que favoreceram a aquisição de nutrientes, estando também associadas a uma maior eficiência na utilização dos mesmos, como se verifica principalmente para os tratamentos em que se aplicou calagem (CALAG), cálcio (CAL) ou magnésio (MAG). Esta tendência é reforçada pela estreita correlação (r) observada entre o

conteúdo e a eficiência de utilização dos nutrientes, notadamente o fósforo, com a produção de matéria seca total (Tabela 3).

Uma saturação por alumínio de 60% tem sido considerada limitante para a maioria das culturas. Todavia, culturas sensíveis são impedidas de expressarem seu potencial de crescimento quando a saturação por alumínio atinge valores em torno de 10 a 20% (Evans e Kamprath, 1970). Por outro lado, níveis adequados de cálcio (Foy, 1976) ou magnésio (Keltjens e Tan, 1993) podem amenizar os problemas relacionados à toxidez de alumínio. Os resultados com as espécies florestais em estudo comprovam este fato (Tabelas 1 e 2). Contudo, o efeito observado nas plantas pelo suprimento de Ca ou Mg pode diferir em função de características intrínsecas às espécies e/ou do tipo de solo. O magnésio parece ser mais efetivo que o cálcio em minimizar a toxidez de alumínio nas monocotiledôneas, melhorando a nutrição e favorecendo o crescimento radicular, o contrário ocorrendo no caso das dicotiledôneas (Keltjens e Tan, 1993). A concentração mínima de cálcio na solução do solo capaz de manter o crescimento varia entre as espécies (Kinraid, Arnold e Baligar, 1985; Vale et al., 1996), sendo que este requerimento aumenta com o abaixamento do pH (Marschner, 1991). Novais et al. (1979), trabalhando com subsolo pobre em cálcio para a produção de mudas de *Eucalyptus grandis*, verificaram que a aplicação de maiores doses de adubo fosfatado contendo cálcio diminuíram ou até anularam a resposta à calagem, indicando que a deficiência deste cátion implicava em menor crescimento das mudas. Entretanto, foi observado que a ausência de magnésio trocável no solo não foi limitante para o eucalipto.

Tomando como base o desempenho das espécies cultivadas no solo natural (TEST), quando estas cresceram na presença de alumínio em concentração mais elevada (ALUM), verificaram-se reduções na produção de matéria seca total da ordem de 38; 97; 65; e 78%, enquanto a calagem (CALAG), ao contrário, apresentou efeito positivo, aumentando a produção em 40; 431; 20; e 23%, respectivamente para cássia verrugosa, ipê mirim, angico-do-cerrado e cedro (Tabela 2). Estes resultados são importantes na medida em que ressaltam a variabilidade das espécies florestais em termos de sensibilidade às condições de acidez do solo e capacidade de resposta à aplicação de corretivos. Diferenças neste sentido têm sido observadas entre diversas espécies florestais (Huang e Bachelard, 1993; Ashwath et al., 1995; Vale et al., 1996).

A extração de nutrientes durante o período de condução do experimento, assim como a eficiência de utilização dos nutrientes para a produção de matéria seca, também tenderam a variar conforme a espécie (Tabela 3). Tais diferenças são evidentes quando se comparam, por exemplo, o comportamento de cássia verrugosa e angico-do-cerrado, espécies pertencentes ao mesmo grupo ecológico.

Alguns estudos têm indicado que, em geral, espécies que se enquadram no grupo das pioneiras mostram maiores eficiências de absorção e utilização de nutrientes se comparadas às espécies dos grupos ecológicos subsequentes (Silva et al., 1996). Gonçalves et al. (1992a) encontraram maiores eficiências de absorção e de utilização de N, P, K e Ca em espécies pioneiras, com marcantes diferenças entre pioneiras e clímax, observadas para

concentração, absorção e eficiência de uso dos nutrientes na fase de mudas, ficando as espécies secundárias numa condição intermediária. Parte destas diferenças puderam ser associadas às características típicas das espécies pioneiras, como maiores taxas de crescimento, maior expansão e ramificação do sistema radicular e presença de raízes finas em maior quantidade (Gonçalves et al., 1992b).

Conforme Marschner (1991) e Lambers e Poorter (1992), espécies de crescimento lento apresentam baixa resposta ao fornecimento de nutrientes, sendo mais adaptadas a solos pouco férteis. Dessa forma, espera-se que espécies classificadas como pioneiras tenham seu crescimento mais restringido quando se desenvolvem em solos ácidos, mostrando-se responsivas à correção da acidez, ao passo que, com o avanço do grupo sucessional (espécies secundárias e clímax), o estímulo ao crescimento proporcionado pela calagem seja menos pronunciado.

Entretanto, para as espécies em estudo no presente trabalho estas premissas não foram confirmadas, uma vez que nas condições em que o experimento foi conduzido o angico-do-cerrado, embora sendo uma espécie classificada como pioneira, à exceção do tratamento ALUM, mostrou tendência de equiparação entre os tratamentos nos parâmetros avaliados, e por outro lado o cedro, apesar de ser considerada espécie secundária, exibiu resposta significativa à correção do solo, indicando que a responsividade das espécies florestais nativas pode também estar relacionada às suas características genéticas, independentemente de suas características ecológicas. Conforme Barbosa et al. (1992), os resultados até certo ponto inesperados

para certas espécies podem ser reflexo do comportamento próprio de cada espécie, sem contudo estarem associados aos conceitos teóricos de grupos sucessionais, os quais não foram ainda confirmados para algumas espécies.

Silva et al. (1997), avaliando a resposta ao potássio, envolvendo várias espécies florestais, relacionaram o seu comportamento frente aos tratamentos à sua classificação de acordo com o grupo sucessional. Estes autores sugerem que a elevada resposta de algumas espécies parece ser devida à sua maior taxa de crescimento, requerendo, deste modo, uma maior quantidade de nutrientes para atender sua demanda nutricional, o que, em última análise, permite a expressão do potencial de produção de biomassa das espécies de crescimento inicial mais acentuado. Apesar desta consideração, os resultados obtidos no presente trabalho indicam que as espécies mais responsivas foram aquelas com as maiores taxas de crescimento, independentemente do seu grupo sucessional.

4. CONCLUSÕES

1. A maior saturação de alumínio foi o fator ligado à acidez do solo, que mais limitou o desenvolvimento das espécies, inibindo o crescimento e a aquisição e utilização de nutrientes pelas plantas.

2. A resposta em crescimento em função da correção da acidez do solo foi sensivelmente maior para as espécies florestais de crescimento mais rápido, independentemente do seu grupo sucessional.

3. Para as espécies cássia verrugosa e ipê mirim, o fornecimento isolado de cálcio ou de magnésio favoreceu o crescimento, sendo este efeito comparável ao da calagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHWATH, N.; DART, P.J.; EDWARDS, D.G.; KHANNA, P.K. Tolerance of Australian tropical and subtropical *Acacias* to acid soil. **Plant and Soil**, The Hague, v.171, n.1, p.83-87, Apr. 1995.
- BAKER, D.E. Acid soils. In: WRIGHT, M.J. (ed.). **Plant adaptation to mineral stress in problem soils**. Beltsville, 1976. p.127-140.
- BARBOSA, L.M.; ASPERTI, L.M.; BEDINELLI, C.; et al. Estudos sobre o estabelecimento e desenvolvimento de espécies com ampla ocorrência em mata ciliar. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.4, p.605-608, 1992.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: IAC, 1986. 94p.
- CHAGAS, C.S. **Associação de Latossolo Variação Una e Latossolo Vermelho Escuro: efeito diferencial da orientação dos estratos de rochas pelíticas pobres**. Lavras: ESAL, 1994. 124p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)
- DELHAIZE, E.; RYAN, P.R. Aluminum toxicity and aluminum tolerance in plants. **Plant Physiology**, Rockville, v.107, n.2, p.315-321, Feb. 1995.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1979. n. p.
- EVANS, L.E.; KAMPRATH, E.J. Lime response as related to percent Al saturation, solution Al and organic matter response. **Soil Science Society American Proceeding**, Madison, v.32, n.2, p.297-310, Mar./Apr. 1970.
- FOY, C.D. General principles involved in screening plants for aluminium and manganese tolerance. In: WRIGHT, M.J. (ed.). **Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils**. Beltsville, 1976, p.255-267.
- FOY, C.D. Plant adaptation to acid, aluminium-toxic soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.19, p.959-987, 1988.

- FREIRE, J.C.; RIBEIRO, M.A.V.; BAHIA, V.G.; LOPES, A.S.; AQUINO, L.E. Resposta do milho cultivado em casa de vegetação à níveis de água em solos da região de Lavras-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4, n.1, p.5-8, jan./abr. 1980.
- GONÇALVES, J.L.M.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F. Níveis críticos de fósforo no solo e na parte aérea de eucalipto na presença e ausência da calagem. **Revista Árvore**, Viçosa, v.10, n.1, p.91-104, jan./jun. 1986.
- GONÇALVES, J.L.M.; FREIXÊDAS, V.M.; KAGEYAMA, P.Y. et al. Produção de biomassa e sistema radicular de espécies de diferentes estágios sucessionais. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.4, p.363-367, 1992b.
- GONÇALVES, J.L.M.; KAGEYAMA, P.Y.; FREIXÊDAS, V.M. et al. Capacidade de absorção e eficiência nutricional de algumas espécies arbóreas tropicais. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.4, p. 463-469, 1992a.
- GOODLAND, R.; FERRI, M.G. **Ecologia do Cerrado**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1979. 193p.
- HUANG, J.; BACHELARD, E.P. Effects of aluminium on growth and cation uptake in seedlings of *Eucalyptus mannifera* and *Pinus radiata* **Plant and Soil**, The Hague, v.149, n.1, p.121-127, Feb. 1993.
- JOHNSON, J.W.; WILKINSON, R.E. Wheat growth responses of cultivars to H⁺ concentration. In: RANDALL, P.J.; DELHAIZE, E.; RICHARDS, R.A.; MUNS, R. (eds.) **Genetic aspects of plant mineral nutrition**. The Netherlands: Kluwer Academic, 1993. p.69-73.
- JONES, J.P.; FOX, R.L. Phosphorus nutrition of plants influenced by manganese and aluminium uptake from an oxisol. **Soil Science**, Baltimore, v.126,n.4, p.230-236, Oct. 1978.
- KAMPRATH, E.J.; FOY, C.D. Lime-fertilizer-plant interactions in acid soils. In: ENGELSTAD, O.P. (ed.) **Fertilizer technology and use**. 3.ed. Madison: SSSA, 1985. p.91-151.
- KELTJENS, W.G.; TAN, K. Interactions between aluminium, magnesium and calcium with different monocotyledonous and dicotyledonous plant species. **Plant and Soil**, The Hague, v.155/156, p.485-488, Oct. 1993.
- KINRAID, T.B.; ARNOLD, R.C.; BALIGAR, V.C. A rapid assay for aluminium phytotoxicity at submicromolar concentrations. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.65, n.3, p.245-250, nov. 1985.
- KUHN, A.J.; BAUCH, J.; SCHRÖDER, W.H. Monitoring uptake and contents of Mg, Ca and K in Norway spruce as influenced by ph and Al, using microprobe analysis and stable isotope labelling. **Plant and Soil**, The Hague, v.168/169, p.135-150, Jan./Feb. 1995.
- LAMBERS, H.; POORTER, H. Inherent variations in growth rate between higher plants: A search for fisiological causes and ecological consequences. **Advances in Ecological Research**, London, v.23, p.188-261, 1992.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFÓS, 1989. 201p.
- MARSCHNER, H. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. **Plant and Soil**, The Hague, v.134, n.1, p.1-20, July 1991.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 4.ed. San Diego: Academic Press, 1986. 674p.
- McLAUGHLIN, M.J.; JAMES, T.R. Effect of phosphorus supply to the surface roots of wheat on root extension and rizosphere chemistry in an acidic subsoil. **Plant and Soil**, The Hague, v.134, n.1, p.73-82, July 1991.
- NAIDU, R.; TILLMAN, R.W.; SYERS, J.K.; KIRKMAN, J.H. Lime-aluminium-phosphorus interactions and the growth of *Leucaena leucocephala* I. Plant growth studies. **Plant and Soil**, The Hague, v.126, n.1, p.1-8, Aug. 1990a.
- NAIDU, R.; TILLMAN, R.W.; SYERS, J.K.; KIRKMAN, J.H. Lime-aluminium-phosphorus interactions and the growth of *Leucaena leucocephala* II. Chemical composition. **Plant and Soil**, The Hague, v.126, n.1, p.9-17, Aug. 1990b.
- NOVAIS, R.F.; GOMES, J.M.; ROCHA, D.; BORGES, E.E.L.; NASCIMENTO FILHO, M.B. **Calagem e adubação NPK na produção de mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. HILL ex MAIDEN)**. Viçosa: SIF, 1979. p.27-66. (Boletim Técnico, 2)
- RENDING, V.V.; TAYLOR, H.M. **Principles of Soil-Plant Interrelationships**. New York, 1989. 275p.
- RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E.; COSTA, V.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah oxisols. **Soil Science**, Baltimore, v.133, n.4, p.378-382, June 1982.
- SANCHEZ, P.A.; SALINAS, J.G. Low input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. **Advances in Agronomy**, New York, v.34, p.280-406, 1981.

- SANCHEZ, P.A.; UEHARA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.S. (eds.). **The Role of Phosphorus in Agriculture**. Madison: ASA, 1980. p.471-514.
- SANSONOWICZ, C.; SMYTH, T.J. Effects of hydrogen on soybean root growth in a subsurface solution. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.2, p.255-261, Fev. 1995.
- SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.4, p.289-302, 1981.
- SILVA, I.R.; FURTINI NETO, A.E.; CURI, N.; VALE, F.R. Crescimento inicial de quatorze espécies florestais nativas em resposta à adubação potássica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.2, p.205-212, fev. 1997.
- SILVA, I.R.; FURTINI NETO, A.E.; VALE, F.R.; CURI, N. Eficiência nutricional para potássio em espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.257-264, maio/ ago. 1996.
- SMYTH, T.J.; CRAVO, M.S. Aluminum and calcium constraints to continuous crop production in a Brazilian amazon Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, n.5, p.843-850, Sep./Oct. 1992.
- TAN, K.; KELTJENS, W.G. Analysis of acid-soil stress in sorghum genotypes with emphasis on aluminium and magnesium interactions. **Plant and Soil**, The Hague, v.171, n.1, p.147-150, Apr. 1995.
- TAN, K.; KELTJENS, W.G.; FINDENEGG, G.R. Acid soil damage in sorghum genotypes: role of magnesium deficiency and root impairment. **Plant and Soil**, The Hague, v.139, n.2, p.149-155, Jan. 1992.
- TAYLOR, G.J. Current views of the aluminum stress response; the physiological basis of tolerance. **Current Topics in Plant Biochemistry Physiology**, v.10, p.57-93, 1991.
- VALE, F.R.; FURTINI NETO, A.E.; RENÓ, N.B.; FERNANDES, L.A.; RESENDE, A.V. Crescimento radicular de espécies florestais em solo ácido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.9, p.609-616, set. 1996.
- VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim técnico, 7).