

# CRESCIMENTO RADICULAR DE ESPÉCIES FLORESTAIS EM SOLO ÁCIDO<sup>1</sup>

FABIANO RIBEIRO DO VALE<sup>2</sup>, ANTONIO EDUARDO FURTINI NETO<sup>3</sup>, NILTON BRAGA RENÓ,  
LUIZ ARNALDO FERNANDES e ALVARO VILELA RESENDE<sup>4</sup>

**RESUMO** - Sementes pré-germinadas de 15 espécies florestais, bem como sementes de algodão e de milho, foram plantadas em vasos de 500 ml contendo solo (Latosolo Vermelho Escuro) superficial fertilizado. Após as raízes atingirem a parte inferior do solo, avaliou-se sua taxa de crescimento em outro vaso com subsolo corrigido para avaliar os fatores limitantes de solo ácido pelos seguintes tratamentos: (i) Testemunha, (ii) Ca(OH)<sub>2</sub> para elevar o pH do solo a 6,0, (iii) MgO para elevar o pH do solo a 6,0, e (iv) CaCl<sub>2</sub> para elevar o Ca a 1,0 cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup> solo. A fim de se avaliar possíveis mecanismos de tolerância a Al, foram determinados a capacidade de troca de cátions (CTC) da raiz e, em estudo paralelo, a mudança de pH induzida pelas plantas, além da absorção de amônio e nitrato em solução nutritiva. Observou-se comportamento muito distinto entre as espécies em sua capacidade de desenvolver raízes no subsolo ácido, na tolerância à toxidez de alumínio e à baixa disponibilidade de cálcio. A tolerância ao alumínio não foi correlacionada com a CTC da raiz e nem com mudanças de pH. *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium* foram tolerantes a fatores limitantes de solo ácido e mostraram capacidade surpreendente em diminuir o pH da solução, mesmo expostos a muito mais nitrato do que a amônio.

**Termos para indexação:** algodoeiro, milho, *Eucalyptus grandis*, *Acacia mangium*, tolerância ao alumínio, soluções nutritivas.

## ROOT GROWTH OF FOREST SPECIES AS AFFECTED BY ACID SOIL INFERTILITY FACTORS

**ABSTRACT** - Pregerminated seeds of 15 forest species, as well as cotton and corn seeds were planted in 500 ml pots containing conveniently treated surface soil (oxisol). After roots reached the bottom part of the soil, their growth rate in another pot with amended subsoil was used to evaluate acid soil infertility factors, with the following treatments: (i) check; (ii) Ca(OH)<sub>2</sub> to raise soil pH to 6.0; (iii) MgO to raise soil pH to 6.0; (iv) CaCl<sub>2</sub> to raise Ca to 1.0 cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup> soil. In order to obtain information about expected differences in Al tolerance, the cation exchange capability (C.E.C.) of the root and induced pH changes in nutrient solution were evaluated. Very distinct differences among species in their ability to grow roots on acid subsoil to tolerate Al toxicity and low Ca availability were observed. Such behavior is important to establish man-made forests with minimum use of amendments. Al tolerance was not correlated with root C.E.C. and with pH induced changes in nutrient solution. Related to pH changes, it is convenient to emphasize that *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium*, two of the studied species most tolerant to acid soil infertility factors, showed outstanding capability in decreasing solution pH even when exposed to much more nitrate than to ammonium.

**Index terms:** cotton plant, corn plant, *Eucalyptus grandis*, *Acacia mangium*, aluminium tolerance, fertility solutions.

## INTRODUÇÃO

No Estado de Minas Gerais, muitos dos subsolos apresentam alta saturação de Al e baixa percentagem de saturação em Ca no complexo de troca, o que limita a exploração do subsolo pelas raízes na busca por umidade e nutrientes. Uma vez que é bastante difícil aplicar calcário ao subsolo para corrigir a deficiência de Ca e neutralizar o Al, tem havido conside-

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 15 de abril de 1996.

Trabalho financiado pela CEMIG.

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

<sup>3</sup> Eng. Agr., Dr., UFLA. Bolsista do CNPq.

<sup>4</sup> Eng. Agr., Aluno de Pós-Graduação, UFLA. Bolsista do CNPq.

rável interesse na seleção de espécies ou cultivares que sejam tolerantes a fatores limitantes de solos ácidos (Baligar et al., 1993).

A toxidez de Al é, provavelmente, o fator mais limitante ao crescimento de plantas em solos ácidos (Kamprath & Foy, 1985). O baixo crescimento radicular observado em solos que têm camadas de subsolos fortemente ácidos se deve, primariamente, à toxidez de Al, que limita a profundidade de enraizamento e o grau de ramificação das raízes (Clarkson, 1969). Porém, espécies tolerantes à toxidez de Al podem sobreviver reduzindo a absorção do Al ou excluindo-o do seu tecido.

O pH da rizosfera pode ser aumentado diminuindo-se a solubilidade e toxidez do Al, como observado em cultivares de trigo por Foy & Fleming (1978). O mecanismo sugere que plantas tolerantes são capazes de absorver mais nitrato na presença de amônio, ao passo que plantas sensíveis absorvem relativamente mais amônio (Fleming, 1983). Essas plantas ditas acidófilas reduzem o pH do meio de enraizamento (Haynes & Goh, 1978), gerando controvérsias sobre o mecanismo de tolerância ao Al.

A baixa capacidade de troca de cátions - CTC das raízes tem sido também sugerida como um mecanismo de tolerância ao Al (Vose & Randall, 1962). É de se esperar que a baixa capacidade de troca de cátions ocasione redução na difusão de Al trivalente, diminuindo a severidade dos efeitos deste elemento sobre a expansão da parede celular, uma vez que haveria menos radicais de carboxila livres na parede celular, onde o Al poderia se ligar (Helyar, 1978).

A resistência da plasmalema à penetração do Al tem sido também sugerida como causa da menor presença deste elemento no citoplasma (Henning, 1975). Também, Hecht-Buchholz & Foy (1981) sugeriram a produção de um mucigel por plantas tolerantes, para proteger as raízes dos danos causados pelo Al.

Uma vez o alumínio presente no tecido da planta, outros mecanismos de tolerância podem operar. Em certas espécies lenhosas, por exemplo, o Al citoplasmático é complexado por moléculas orgânicas, evitando danos ao metabolismo celular (Jones, 1961).

O Ca desempenha um papel-chave no crescimento radicular, e a concentração mínima do nutriente

na solução do solo, necessária para manter o crescimento, varia entre as espécies de plantas (Edwards & Horton, 1979; Kinraid et al., 1985). Segundo Ritchey et al. (1982), a penetração das raízes no horizonte B21 de um Latossolo foi limitada pela falta de Ca ao invés da toxidez de Al.

As informações a respeito da presença do Al e do Ca sobre o crescimento de espécies florestais nativas são escassas, e é cada vez maior a procura de espécies para o restabelecimento da vegetação de matas ciliares. O objetivo do presente trabalho foi o de avaliar o efeito do alumínio e do cálcio no crescimento radicular de quinze espécies florestais.

## MATERIAL E MÉTODOS

Sementes pré-germinadas de quinze espécies florestais (Tabela 1), algodão (*Gossypium hirsutum*, L.) e milho (*Zea mays* L.) foram plantadas em vasos de 500 ml contendo o solo de superfície tratado com  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ , para elevar o pH do anel superior do solo a 6,0, e uma adubação básica com 200 mg de P, 100 mg de K e 50 mg de S por kg de solo.

Depois que as raízes atingiram a parte inferior do vaso, período este que, dependendo da espécie, variou de 15 a 20 dias, sua taxa de crescimento foi avaliada pelo mesmo período em outro vaso de 500 ml com subsolo do mesmo Latossolo, contendo um dos seguintes tratamentos: (i) Testemunha; (ii)  $\text{Ca(OH)}_2$  para elevar o pH do solo a 6,0; (iii)  $\text{MgO}$  para elevar o pH do solo a 6,0, e (iv)  $\text{CaCl}_2$  para elevar o Ca a  $1,0 \text{ cmol kg}^{-1}$  de solo. Amostras do material de solo foram analisadas quimicamente após a aplicação dos tratamentos (Tabela 2).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, arranjado num fatorial  $17 \times 4$  (dezesete espécies e quatro tratamentos), com seis repetições.

Para avaliar a resposta das espécies aos componentes da acidez do solo, determinou-se o crescimento relativo das raízes, comparando-se o comprimento radicular das espécies nos diferentes tratamentos com o observado no tratamento  $\text{Ca(OH)}_2$ .

Para obtenção de informações sobre o comportamento das espécies na tolerância ao Al, avaliou-se a capacidade de troca de cátions (CTC) das raízes das plantas no anel superior, segundo metodologia de Crooke (1964).

Outro experimento em separado foi instalado para avaliar mudanças de pH e a absorção de amônio e nitrato pelas plantas das diferentes espécies, em solução nutritiva. Sementes de todas as espécies, exceto *Albizia lebbek* (L.) Benth. foram germinadas em toalhas de papel úmido

TABELA 1. Lista e grupo ecológico das espécies florestais.

| Nome científico                                    | Nome comum     | Grupo ecológico     |
|--|----------------|---------------------|
| <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Moron | Tamboril       | Secundária          |
| <i>Leucaena</i> sp.                                | Leucena        | Pioneira            |
| <i>Melia azedarach</i> L.                          | Cinamomo       | Pioneira            |
| <i>Trema micrantha</i> (L.) Blum.                  | Trema          | Pioneira            |
| <i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake         | Guapuruvu      | Pioneira            |
| <i>Sesbania sesban</i> Merril.                     | Sesbânia       | Pioneira            |
| <i>Caesalpinia ferrea</i> Mart.                    | Pau-ferro      | Secundária-Clímax   |
| <i>Cedrella fissilis</i> Vell.                     | Cedro          | Pioneira-Secundária |
| <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.          | Angico-amarelo | Pioneira            |
| <i>Albizia lebbek</i> (L.) Benth.                  | Albizia        | Pioneira-Secundária |
| <i>Senna multijuga</i> (Rich.) Irwin et Barn.      | Canafistula    | Pioneira            |
| <i>Mimosa scabrella</i> Benth.                     | Bracatinga     | Pioneira            |
| <i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> Benth.             | Sabiá          | Pioneira            |
| <i>Acacia mangium</i> L.                           | Acácia mangium | Pioneira            |
| <i>Eucalyptus grandis</i> Hill. ex Maiden          | Eucalipto      |                     |

TABELA 2. Caracterização química do material de solo após a aplicação dos tratamentos.

| Tratamento          | pH<br>H <sub>2</sub> O | Matéria orgânica<br>g.kg <sup>-1</sup> | Cátions trocáveis |      |      |      | P<br>mg.kg <sup>-1</sup> |
|---------------------|------------------------|--|-------------------|------|------|------|--------------------------|
|                     |                        |  | Ca                | Mg   | K    | Al   |                          |
| Testemunha          | 4,3                    | 11                                     | 0,12              | 0,05 | 0,03 | 1,65 | 1                        |
| Ca(OH) <sub>2</sub> | 6,3                    | 11                                     | 4,64              | 0,05 | 0,05 | 0,08 | 2                        |
| MgO                 | 6,2                    | 11                                     | 0,14              | 4,15 | 0,04 | 0,09 | 2                        |
| CaCl <sub>2</sub>   | 4,2                    | 11                                     | 1,10              | 0,05 | 0,03 | 1,52 | 1                        |

e transplantadas para bandejas contendo vermiculita. As plântulas foram cultivadas nestas bandejas por um período de 10 a 25 dias, em condições de casa de vegetação, sendo posteriormente transferidas para vasos de plástico individuais contendo um litro de solução de Hoagland com 1/4 de força, e pH ajustado para 4,9. Três dias após a repicagem, a solução nutritiva foi renovada, e o pH foi medido após 24, 48 e 72 horas. Depois deste período, foi efetuada a lavagem das raízes em CaSO<sub>4</sub> a 0,005 M. As plantas foram transferidas para vasos de 750 cm<sup>3</sup> com solução de absorção contendo um mol m<sup>-3</sup> de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> e 10 mg Al dm<sup>-3</sup> adicionado como Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, tendo o pH sido ajustado a 4,2. Cada vaso foi devidamente aerado durante o experimento. Aliquotas de 10 ml da solução foram retiradas após 6, 12, 24, 30 e 36 horas. O pH foi imediatamente medido, e as amostras foram congeladas para posterior análise de amônio e nitrato. Ao completar o período de absorção de 36 horas, as raízes foram lavadas em água destilada e secas a 60°C para determinação do peso seco. O amônio e o nitrato na solução de absorção foram determinados de acordo com Smith (1980) e Lowe & Hamilton (1967), respectivamente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O subsolo utilizado nesse estudo era altamente ácido, não apenas por seu pH igual a 4,3 mas também por ter disponibilidade de Ca muito baixa além de um teor de Al trocável bastante elevado (Tabela 2). Foram observadas diferenças marcantes entre as espécies na capacidade das raízes de crescerem em subsolo ácido (Fig. 1). Incluindo algodão, milho e eucalipto, espécies bem conhecidas com relação ao seu comportamento em condições ácidas, pode ser visualizado o espectro de comportamento das espécies florestais estudadas. Algumas das espécies florestais mostraram igual capacidade para desenvolver raízes nos tratamentos testemunha e Ca(OH)<sub>2</sub>, apresentando maior tolerância às condições ácidas do solo do que o eucalipto, que é bem conhecido como espécie tolerante a essas condições (Neves et al., 1982). Tal comportamento torna-se importante para estabelecer florestas artificiais com o uso mínimo de corretivos em solos fortemente ácidos, comuns no Brasil.

O reduzido crescimento de raízes observado em solos que têm camadas de subsolos fortemente ácidos deve-se, provavelmente, à toxidez de Al (Clarkson, 1969; Kamprath & Foy, 1985). Também observou-se, neste estudo, sensível diferença entre as espécies na sua capacidade de desenvolver em subsolo ácido com alto Al trocável e Ca deficiente (Fig. 1).

Evans & Kamprath (1970) em estudo de resposta à calagem determinaram que quando a saturação de Al alcançou 60%, a concentração de Al na solução do solo foi geralmente maior que  $1 \text{ mg.dm}^{-3}$ , teor este que pode ser considerado como limitante ao crescimento para a maioria das culturas. No caso de culturas sensíveis, 10% a 20% de saturação de Al representaria o valor crítico. No tratamento  $\text{CaCl}_2$ , que foi considerado como comparação para avaliação dos efeitos do Al (Fig. 2), a saturação de Al foi de 56% (Tabela 2). Este tratamento permitiu o crescimento normal de raízes da maioria das espécies florestais. Em geral, essas espécies altamente tolerantes à acidez do subsolo (Fig. 1) apresentaram-se tolerantes à toxidez pelo Al, excetuando-se *Acacia mangium* L. Diante da importância da toxidez do Al como componente da acidez do solo, em termos de crescimento radicular (Clarkson, 1969; Kamprath & Foy, 1985), o comportamento da *Acacia mangium* foi inesperado. Todavia, a aplicação de cloreto pode ter afetado esta espécie através da salinidade, pois a *Acacia mangium* é altamente adaptada a solos de baixa fertilidade.

A composição das membranas celulares das raízes tem influência marcante em impedir que o cloreto

penetre na raiz. A capacidade de cinco espécies de uva em tolerar a salinidade foi positivamente relacionada com a solubilidade do Cl nos lípidios das membranas (Kuiper, 1968). Se esse for o caso, é válido enfatizar a tolerância, ao cloreto, por algumas espécies como o *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth. e *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. (Fig. 2).

A penetração de raízes no subsolo ficou também limitada pela baixa disponibilidade de Ca, exceto no tocante ao *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, à *Acacia mangium* L. e ao *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub. (Fig. 3). É importante compreender que o tratamento com MgO corrigiu a toxidez de  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$ , mas agravou a deficiência de Ca, isto é, o MgO pode ter produzido um antagonismo Ca/Mg que reduziu a atividade do Ca na solução do solo. A relação Ca:Mg foi diminuída de 2,4 para 0,0337 com o tratamento MgO (Tabela 2). Os resultados obtidos mostraram considerável variação entre as espécies florestais quanto ao requerimento em Ca, como observado para outras espécies por Edwards & Horton (1979) e Kinraid et al. (1985). O crescimento das raízes da espécie *Leucaena leucocephala*, foi impedido pelo tratamento MgO.

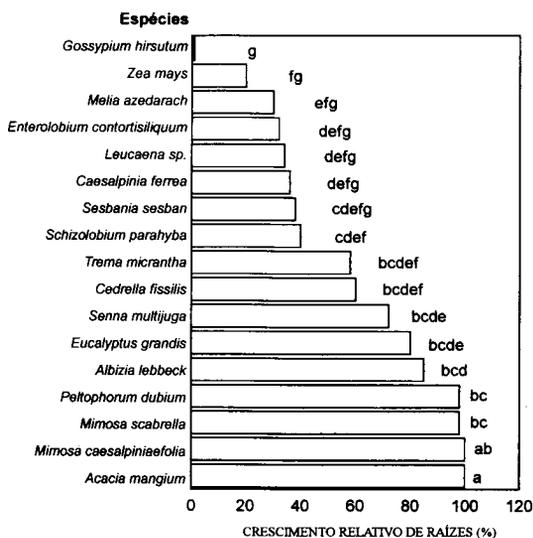


FIG. 1. Crescimento relativo de raízes no tratamento testemunha, por várias espécies. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

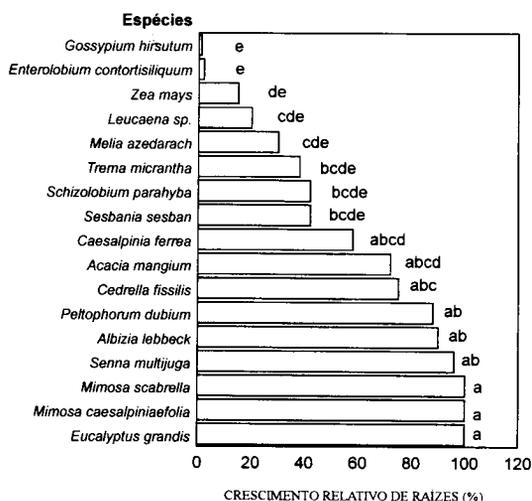


FIG. 2. Crescimento relativo de raízes no tratamento  $\text{CaCl}_2$ , por várias espécies. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

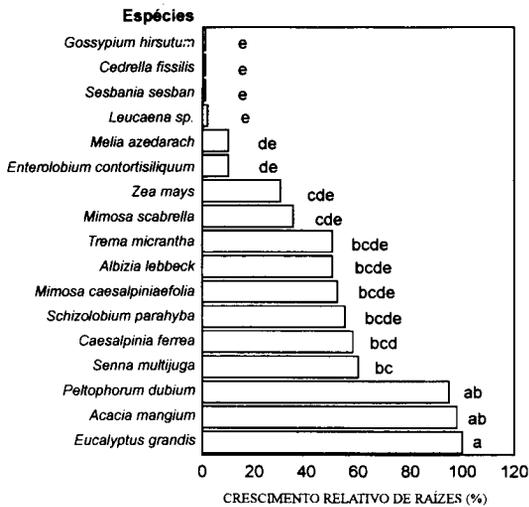


FIG. 3. Crescimento relativo de raízes no tratamento MgO, por várias espécies. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A baixa capacidade de troca de cátions da raiz parece estar associada com a tolerância ao Al (Vose & Randall, 1962). Deste modo, espera-se uma redução na difusão do Al trivalente e também na severidade dos efeitos do Al sobre a expansão da parede celular, visto que haveria menos radicais carboxílicos livres nas paredes celulares, nos quais o Al poderia se ligar (Helyar, 1978). Neste estudo, a tolerância ao Al, quando medida pelo crescimento relativo de raiz (Fig. 1), não foi correlacionada com a CTC radicular (Tabela 3). O fato de esse resultado não dar suporte à explicação acima, implica que, pelo menos para as espécies estudadas, outro mecanismo que não a CTC da raiz é a causa da tolerância diferencial ao Al. Clarkson (1969) tem questionado a função da CTC da raiz sobre a tolerância ao Al, pois os grupos carboxílicos da pectina na parede celular, que são primariamente causadores da CTC, têm pouca influência sobre a absorção de íons.

Mudanças diferenciais de pH que ocorreram na solução nutritiva de crescimento, bem como na solução de absorção com Al (Tabela 3), também não se mostraram adequadas para explicar a tolerância diferencial do Al entre as espécies (Fig. 1), com base no efeito conhecido do pH sobre a solubilidade do

TABELA 3. Capacidade de troca de cátions (CTC) de raízes de plantas das espécies e mudanças diferenciais de pH induzidas nas soluções nutritivas.

| Espécies                             | CTC raiz<br>mmol.kg <sup>-1</sup> mat.seca | pH <sub>1</sub> <sup>1</sup> | pH <sub>2</sub> <sup>2</sup> |
|--------------------------------------|--|------------------------------|------------------------------|
| <i>Gossypium hirsutum</i>            | 215  | 0,30                         | 0,15                         |
| <i>Zea mays</i>                      | 108  | 1,54                         | -0,15                        |
| <i>Enterolobium contortisiliquum</i> | 127  | 1,07                         | 0,08                         |
| <i>Leucaena sp.</i>                  | 269  | 1,01                         | 0,01                         |
| <i>Melia azedarach</i>               | 225  | 1,10                         | -0,03                        |
| <i>Trema micrantha</i>               | 216  | -0,15                        | -0,10                        |
| <i>Schizolobium parahyba</i>         | 256  | 0,46                         | -0,09                        |
| <i>Sesbania sesban</i>               | 228  | 2,14                         | 0,10                         |
| <i>Caesalpinia ferrea</i>            | 159  | 0,39                         | -0,04                        |
| <i>Cedrella fissilis</i>             | 221  | 0,15                         | 0,02                         |
| <i>Peltophorum dubium</i>            | 240  | -0,50                        | -0,12                        |
| <i>Albizia lebbek</i>                | 244  | -                            | -                            |
| <i>Senna multijuga</i>               | 266  | 0,28                         | 0,00                         |
| <i>Mimosa scabrella</i>              | 225  | 1,58                         | 0,00                         |
| <i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>      | 218  | 0,47                         | 0,04                         |
| <i>Acacia mangium</i>                | 129  | -1,45                        | -0,20                        |
| <i>Eucalyptus grandis</i>            | 266  | -1,48                        | -0,20                        |

<sup>1</sup> pH final menos pH inicial após exposição por 48 horas em solução de crescimento sem Al e relação NO<sub>3</sub>:NH<sub>4</sub> igual a 8:1.

<sup>2</sup> pH final menos pH inicial após exposição por 12 horas em solução de absorção com 10 mg Al.dm<sup>-3</sup> e relação NO<sub>3</sub>:NH<sub>4</sub> igual a 1:1.

Al. Foy & Fleming (1978), indicam que a tolerância ao Al pelo trigo está associada com a capacidade das plantas em elevar ou abaixar o pH da solução nutritiva em resposta à absorção do N na forma de nitrato ou amônio. Eles concluíram, portanto, que a tolerância ao Al estaria caracterizada pela capacidade de utilizar o nitrato eficientemente na presença do amônio elevando o pH do meio de crescimento. Isto não corrobora os resultados aqui obtidos, em que o *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium*, espécies tolerantes ao Al, mostraram notável capacidade em abaixar o pH da solução, mesmo exposta a muito mais nitrato do que a amônio (Tabela 3).

De fato, espécies mais tolerantes ao Al, como *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Acacia mangium* L., mostraram maior preferência por amônio, em relação ao nitrato (Tabelas 4 e 5). Estas espécies, em exposição ao Al, tiveram absorção líquida crescente do amônio, ao passo que a absorção líquida do nitrato diminuiu. Ficou claro que o Al não afetou a absorção do amônio, porém teve um forte efeito na absorção do nitrato. Rorison (1985) observou que a espécie *Deschampsia flexuosa* foi bastante tolerante ao Al quando suprida com amônio, porém foi afetada pelo Al quando suprida com nitrato.

**TABELA 4.** Absorção líquida de amônio em solução de 1 mol de  $\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot \text{m}^{-3}$  na presença de 10 mg  $\text{Al} \cdot \text{dm}^{-3}$  adicionado como  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . O pH inicial da solução foi 4,2.

| Espécies                             | Tempo, horas   |     |     |     |      |
|--------------------------------------|--|-----|-----|-----|------|
|                                      | 6  | 12  | 24  | 30  | 36   |
|                                      | -----mMols N-NH <sub>4</sub> kg <sup>-1</sup> mat. seca raiz ----- |     |     |     |      |
| <i>Gossypium hirsutum</i>            | 295  | 95  | 15  | 18  | 12   |
| <i>Zea mays</i>                      | 568  | 966 | 964 | 770 | 690  |
| <i>Enterolobium contortisiliquum</i> | 114  | 92  | 84  | 61  | 55   |
| <i>Leucaena</i> sp.                  | 123  | 96  | 108 | 121 | 96   |
| <i>Melia azedarach</i>               | 176  | 160 | 88  | 48  | 35   |
| <i>Trema micrantha</i>               | 287  | 413 | 644 | 700 | 894  |
| <i>Schizolobium parahyba</i>         | 169  | 192 | 297 | 280 | 363  |
| <i>Sesbania sesban</i>               | 261  | 380 | 462 | 443 | 443  |
| <i>Caesalpinia ferrea</i>            | 179  | 173 | 290 | 307 | 324  |
| <i>Cedrella fissilis</i>             | 212  | 115 | 58  | 24  | 16   |
| <i>Peltophorum dubium</i>            | 246  | 292 | 480 | 474 | 446  |
| <i>Senna multijuga</i>               | 214  | 132 | 109 | 98  | 104  |
| <i>Mimosa scabrella</i>              | 118  | 123 | 125 | 115 | 129  |
| <i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>      | 110  | 152 | 209 | 143 | 194  |
| <i>Acacia mangium</i>                | 117  | 160 | 184 | 220 | 256  |
| <i>Eucalyptus grandis</i>            | 220  | 311 | 498 | 825 | 1008 |

**TABELA 5.** Absorção líquida de nitrato em solução de 1 mol  $\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot \text{m}^{-3}$  na presença de 10 mg  $\text{Al} \cdot \text{dm}^{-3}$  adicionado como  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . O pH inicial da solução foi 4,2.

| Espécies                             | Tempo, horas  |     |     |     |     |
|--------------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|
|                                      | 6   | 12  | 24  | 30  | 36  |
|                                      | ----- mMols N-NO <sub>3</sub> kg <sup>-1</sup> mat. seca raiz ----- |     |     |     |     |
| <i>Gossypium hirsutum</i>            | 0,0   | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| <i>Zea mays</i>                      | 504   | 663 | 714 | 522 | 535 |
| <i>Enterolobium contortisiliquum</i> | 81  | 48  | 10  | 16  | 14  |
| <i>Leucaena</i> sp.                  | 95  | 83  | 61  | 35  | 18  |
| <i>Melia azedarach</i>               | 156   | 26  | 20  | 22  | 10  |
| <i>Trema micrantha</i>               | 128   | 136 | 167 | 244 | 240 |
| <i>Schizolobium parahyba</i>         | 122   | 330 | 380 | 490 | 547 |
| <i>Sesbania sesban</i>               | 110   | 243 | 349 | 422 | 430 |
| <i>Caesalpinia ferrea</i>            | 97  | 129 | 95  | 74  | 62  |
| <i>Cedrella fissilis</i>             | 203   | 248 | 177 | 150 | 114 |
| <i>Peltophorum dubium</i>            | 173   | 233 | 270 | 348 | 440 |
| <i>Senna multijuga</i>               | 92  | 90  | 38  | 44  | 40  |
| <i>Mimosa scabrella</i>              | 168   | 317 | 274 | 228 | 154 |
| <i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>      | 144   | 210 | 237 | 400 | 462 |
| <i>Acacia mangium</i>                | 147   | 126 | 122 | 100 | 88  |
| <i>Eucalyptus grandis</i>            | 110   | 92  | 74  | 35  | 28  |

Um grande número de plantas pertencentes à família Ericaceae desenvolvem-se predominantemente em solos ácidos e mostram preferência ao N amoniacal ao invés do nítrico, segundo Haynes & Goh (1978). Essa preferência foi também observada em *Eucalyptus alba* Reinw. (Vale et al., 1984).

As espécies de menor crescimento em solo ácido, tais como *Melia azedarach* L., *Enterolobium*

*contortisiliquum* (Vell.) Moron e *Leucaena* sp., tiveram sua absorção líquida de nitrato acentuadamente reduzida após doze horas de exposição ao Al.

Portanto, outro mecanismo além da CTC da raiz e mudanças de pH induzidas pela planta, está envolvido na diferença varietal à tolerância ao Al. Cuenca et al. (1990) destacaram que a aparente tolerância ao Al observada em árvores de uma floresta tropical num

solo muito ácido se deve à queilação do Al, tornando-o inócuo ou depositando-o em compartimentos tais como vasos do xilema, vacúolos ou paredes celulares, onde o elemento não pode danificar o citoplasma ou interferir com a atividade metabólica - observação, esta, que deve ser considerada em outros estudos.

### CONCLUSÕES

1. Entre as espécies florestais estudadas, *Acacia mangium*, *Eucalyptus grandis* e *Peltophorum dubium* têm o crescimento radicular menos afetado em condições de solo ácido, enquanto *Enterolobium contortisiliquum*, *Melia azedarach* e *Leucaena* sp. são as mais afetadas.

2. Espécies mais tolerantes ao Al mostram maior preferência pelo N na forma de amônio ao invés de nitrato.

### REFERÊNCIAS

- BALIGAR, V.C.; SCHAFFERT, R.E.; SANTOS, H.L.; PITTA, G.V.E.; BAHIA FILHO, C. Soil aluminium effects on uptake, influx, and transport of nutrients in sorghum genotypes. **Plant and Soil**, The Hague, v.150, n.1/2, p.271-277, Mar. 1993.
- CLARKSON, D.T. Metabolic aspects of aluminium toxicity and some possible mechanisms for resistance. In: RORISON, I.H. (Ed.). **Ecological aspects of the mineral nutrition of plants**. Oxford, Edinburgh: Blackwell, 1969. p.381-397.
- CROOKE, W.M. The measurement of the cation-exchange capacity of plant roots. **Plant and Soil**, The Hague, v.21, n.1, p.43-49, Aug. 1964.
- CUENCA, G.; HERRERA, R.; MEDINA, E. Aluminium tolerance in trees of a tropical cloud forest. **Plant and Soil**, The Hague, v.125, n.1/2, p.169-175, June 1990.
- EDWARDS, J.H.; HORTON, B.D. Response of peach seedlings to calcium concentration in nutrient solution. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.104, n.5, p.97-99, Jan. 1979.
- EVANS, L.E.; KAMPRATH, E.J. Lime response as related to percent Al saturation, solution Al and organic matter response. **Soil Science Society America. Proceedings**, Madison, v.32, n.2, p.297-310, Mar./Apr. 1970.
- FLEMING, A.L. Ammonium uptake by wheat varieties differing in Al tolerance. **Agronomy Journal**, Madison, v.75, n.5, p.726-730, Sep./Oct. 1983.
- FOY, C.D.; FLEMING, A.L. The physiology of plant tolerance to excess available aluminium and manganese in acid soils. In: JUNG, G.A. (Ed.). **Crop tolerance to suboptimal land conditions**. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, 1978. p.301-328. (Special Publication, 32).
- HAYNES, R.J.; GOH, K.M. Ammonium and nitrate nutrition of plants. **Biological Review**, London, v.53, n.4, p.465-510, Sept. 1978.
- HECHT-BUCHHOLZ, C.; FOY, C.D. Effect of aluminium toxicity on root morphology of barley. **Plant and Soil**, The Hague, v.72, n.2/3, p.151-165, 1981.
- HELYAR, K.R. Effects of aluminium and manganese toxicity on legume growth. In: ANDREW, C.S.; KAMPRATH, E.J. (Eds.). **Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soil**. Melbourne: CSIRO, 1978. p.207-231.
- HENNING, S.J. **Aluminium toxicity in the primary meristem of wheat roots**. Corvallis, Oregon: Oregon State University, 1975. 128p. Ph.D. Thesis.
- JONES, L.H. Aluminium uptake and toxicity in plants. **Plant and Soil**, The Hague, v.13, n.4, p.297-310, Jan. 1961.
- 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, Wisconsin: Soil Science Society of America, 1985. p.91-151.
- 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.
- KUIPER, P.J.C. Ion transport characteristics of grape root lipids in relation to transport. **Plant Physiology**, Rockville, v.43, n.1, p.1372-1374, Jan. 1968.
- LOWE, R.H.; HAMILTON, J.L. Rapid method for determination of nitrate in plant and soil extracts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.15, n.12, p.359-361, Dec. 1967.
- NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. Efeito do alumínio em amostras de dois latossolos sob cerrado sobre o crescimento e a absorção de nutrientes por mudas de *Eucalyptus* ssp. **Revista Árvore**, Viçosa, v.6, n.1, p.17-28, Jan./Jun. 1982.

- 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.
- RORISON, I.H. Nitrogen source and the tolerance of *Deschampsia flexuosa*, *Holcus lanatus* and *Bromus erectus* to aluminium during seedling growth. **The Journal of Ecology**, New York, v.73, n.1, p.83-90, Mar. 1985.
- SMITH, V.R. A phenol-hypoclorite manual determination of ammonium nitrogen in Kjeldahl digests of plant tissue. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Monticello, v.11, n.7, p.709-722, July 1980.
- VALE, F.R.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. Efeito do alumínio sobre a cinética de absorção de amônio e nitrato em raízes intactas de *Eucalyptus alba*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.8, n.2, p.123-132, jul./dez. 1984.
- VOSE, P.B.; RANDALL, R.J. Resistance to aluminium and manganese toxicities in plants related to variety and cation exchange capacity. **Nature**, London, v.196, n. 48/49, p.85-86, Oct. 1962.