

EFEITO DO ALUMÍNIO SOBRE O CRESCIMENTO DE DUAS ESPÉCIES FLORESTAIS⁽¹⁾

A. N. BEUTLER⁽²⁾, L. A. FERNANDES⁽³⁾ & V. FAQUIN⁽⁴⁾

RESUMO

Para estudar o efeito do Al no crescimento inicial de duas espécies florestais, foi instalado um experimento em novembro de 1998, em solução nutritiva, em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. Após duas semanas em solução nutritiva diluída a 1/3 e sem Al, duas plantas de Moringa (*Moringa oleifera*) e duas de Angico (*Anadenanthera peregrina*) foram transplantadas para vasos de 1,5 L e crescidas em solução nutritiva. Os teores de Al utilizados foram de 0,0; 2,5; 5,0; 7,5; e 10,0 mg L⁻¹, com pH 4,0 ± 0,2, ajustado diariamente durante 70 dias. Após este período, foi determinada a altura das plantas, as quais, posteriormente, foram divididas em parte aérea e raiz, para determinação da matéria seca e dos teores de N e P. Os teores crescentes de Al reduziram progressivamente a altura das plantas e a produção de matéria seca das raízes nas duas espécies e da parte aérea no Angico. O teor de nitrogênio na Moringa diminuiu com o incremento nos teores de Al. O teor de fósforo na parte aérea da Moringa e do Angico diminuiu a partir de 5 mg L⁻¹ de Al na solução nutritiva.

Termos de indexação: moringa, angico, toxidez, solução nutritiva.

SUMMARY: ALUMINUM EFFECT ON THE GROWTH OF TWO FOREST SPECIES

*An experiment was carried out at the Soil Science Department of Universidade Federal de Lavras, in Lavras (MG), in November 1998, to study the effect of aluminum on the initial growth of two forest species, under greenhouse conditions using a nutrient solution. After two weeks in dilute nutrient solution to 1/3 and without aluminum, two Moringa (*Moringa oleifera*) and two Angico (*Anadenanthera peregrina*) plants were transplanted to 1.5 L pots, and grown in nutrient solution. The aluminum levels were 0.0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 mg L⁻¹, with pH 4.0 ± 0.2, adjusted daily during 70 days. Plant height was evaluated*

⁽¹⁾ Trabalho desenvolvido na Universidade Federal de Lavras – UFLA. Recebido para publicação em fevereiro de 2000 e aprovado em julho de 2001.

⁽²⁾ Doutorando do Departamento de Solos da Universidade Estadual Paulista – UNESP. CEP 14870-000 Jaboticabal (SP). Bolsista da FAPESP. E-mail: amaurib@yahoo.com.br

⁽³⁾ Professor do Núcleo de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Av. Osmani Barbosa s/n, CEP 39406-006 Montes Claros (MG).

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG).

and plants were divided in aerial part and root, to determine dry matter and content of N and P. The increasing aluminum levels progressively reduced plant height and root dry matter production in both species, and the aerial part in the Angico plant. Nitrogen content in the Moringa plant reduced with increasing aluminum levels. Phosphorus content in the Moringa and Angico aerial parts reduced with aluminum levels above 5.0 mg L⁻¹ in the nutrient solution.

Index terms: moringa, angico, toxicity, nutrient solution.

INTRODUÇÃO

A toxidez causada pelo alumínio é um dos fatores mais importantes que limitam o crescimento e a produção das plantas em solos ácidos, principalmente em pH abaixo de 5,0. Visto que o baixo pH e a alta concentração de Al são condições encontradas na maioria dos solos tropicais, torna-se fundamental o conhecimento do comportamento de espécies florestais sob tais circunstâncias.

O Al trocável, em níveis tóxicos, causa anomalias e danos ao sistema radicular, resultando na exploração de menor volume de solo pelas plantas e prejudicando a absorção de água e nutrientes, conseqüentemente, ocorrem reduções no crescimento da parte aérea e na produção de matéria seca. O Al, em altas concentrações, acumula-se preferencialmente no sistema radicular das plantas, sendo pequena a quantidade translocada para a parte aérea (Wagatsuma, 1984; Massot et al., 1992). Entretanto, segundo Rhue & Grogan (1977), várias plantas têm a capacidade de acumular altas concentrações de Al na parte aérea sem apresentar evidência de injúria ou toxidez por este elemento. Maiores teores de Al na raiz com relação à parte aérea foram observados nos estudos de Calbo & Cambraia (1980), em sorgo, Pavan & Bingham (1982), em café, e Oliveira & Rena (1989), em mandioca.

A redução no crescimento das plantas causada pela toxidez de Al, em solos ácidos, é considerada um dos fatores que mais limitam a produção (Mendonça et al., 1999). Pavan & Bingham (1982), em cafeeiros, e Alves (1997), estudando espécies florestais, verificaram que o efeito inicial da toxidez do Al foi caracterizado por um retardamento no crescimento e desenvolvimento radicular, e, posteriormente, pela redução progressiva no crescimento da parte aérea, resultando em menor produção de matéria seca das raízes.

Braccini et al. (1998), estudando genótipos de café (*Coffea arabica*), observaram que a presença do Al, em solução nutritiva, inibiu o crescimento das raízes e da parte aérea. Em plantas de fumo, observaram-se um decréscimo no crescimento radicular e um aumento no raio médio das raízes na presença do Al em solução nutritiva, comprometendo o acúmulo de matéria seca (Rheinheimer et al., 1994).

As espécies de plantas e, ou, variedades de uma mesma espécie têm demonstrado comportamento

diferencial quanto à susceptibilidade à toxidez de Al. A capacidade de manutenção da absorção e da translocação de fósforo (Foy, 1974; Cambraia et al., 1989, 1991) e de elementos minerais na presença do Al e absorção e translocação do próprio Al (Foy et al., 1978), a exclusão do Al do metabolismo celular; a redução da atividade do Al pela sua complexação por ácidos orgânicos exsudados pelas raízes (Mullette & Hannon, 1974) e a absorção diferencial de cátions e ânions, em especial de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻, levando a alterações no meio de crescimento na presença de Al (Foy et al., 1965), são características relacionadas com a tolerância de espécies vegetais a este elemento.

O Al interfere de modo generalizado, quando em níveis tóxicos, na absorção e translocação de nutrientes, apresentando as plantas cultivadas em solos com toxidez de Al teores reduzidos de nutrientes na parte aérea (Calbo & Cambraia, 1980). A translocação de fósforo da raiz para a parte aérea pode ser comprometida pela presença do Al, podendo aparecer sintomas de sua deficiência. Esses dois elementos reagem e precipitam no apoplasto, ocorrendo, assim, o acúmulo de fósforo nas raízes (Calbo & Cambraia, 1980; Pavan & Bingham, 1982). É possível que essa interação ocorra tanto na parede celular quanto externamente à plasmalema nas células da coifa (McCormick & Borden, 1974), nos vacúolos de células das raízes (Macklon & Sim, 1992) ou nos espaços intercelulares (Clarkson, 1966).

Teores de Al no solo acima de 1 mg dm⁻³ são considerados limitantes ao crescimento da maioria das culturas (Evans & Kamprath, 1970). Vale et al. (1996), estudando 15 espécies florestais, observaram que o Angico amarelo (*Peltophorium dubium*) teve o crescimento radicular pouco afetado na presença de Al no solo na concentração de 1,48 mg kg⁻¹. Alves (1997) observou que *Senna multijuca* e *Stenolobium stans* apresentaram efeitos nocivos do Al na planta a partir de 5 e 20 mg L⁻¹ de Al na solução nutritiva, respectivamente.

Há muitas informações sobre a toxidez de Al no crescimento das plantas; entretanto, poucos estudos foram feitos com a Moringa e o Angico, os quais são utilizados em programas de revegetação.

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do Al, em solução nutritiva, no crescimento inicial e nos teores de N e P em Moringa e Angico.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG), no período de novembro de 1998 a fevereiro de 1999.

O experimento foi efetuado em solução nutritiva, utilizando Moringa (*Moringa oleifera*) e Angico vermelho (*Anadenanthera peregrina*) e cinco teores de Al na solução adicionados na forma de cloreto: 0,0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 mg L⁻¹. A composição da solução nutritiva de Hoagland modificada por Vale et al. (1996), utilizada no experimento, é apresentada no quadro 1.

As sementes, após a quebra de dormência, foram germinadas em vermiculita. Quando as plantas estavam com ± 3 pares de folhas definitivas, plantas uniformes foram transferidas para bandejas que continham a solução de cultivo (Quadro 1), diluída a 1/3 de força iônica. Após duas semanas nesta solução de adaptação, duas plantas uniformes quanto ao tamanho foram transplantadas, para cada vaso de 1,5 L, com a solução de cultivo e o Al equivalente ao tratamento.

O pH da solução foi mantido a $4,0 \pm 0,2$ mediante ajustes diários com HCl 0,1 mol L⁻¹ durante o período de 70 dias, para minimizar as precipitações do Al. O nível das soluções nos vasos foi mantido pela adição diária de água destilada. As soluções foram mantidas sob arejamento constante e trocadas a cada 14 dias.

Ao final do experimento, após a avaliação da altura, as plantas foram divididas em parte aérea e raiz, para determinar a matéria seca e os teores de N, P e Al. O N foi determinado pelo método semimicro Kjeldahl (Malavolta et al., 1989). Após a digestão nítrico-perclórica, o P foi analisado por colorimetria com azul de molibdênio, e o Al por espectrofotometria de absorção atômica.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise da variância e foram ajustadas equações de regressão entre os teores de Al e as variáveis avaliadas.

Quadro 1. Concentração de nutrientes da solução nutritiva

Nutriente		Nutriente	
	mmol L ⁻¹		µmol L ⁻¹
N	4,0	Mn	6,13
P	0,065	Zn	0,513
K	4,0	Cu	0,215
Ca	1,53	B	31,0
Mg	1,0	Mo	0,074
S	3,0	Fe ⁽¹⁾	42,3

⁽¹⁾ Fe-EDTA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura das plantas de Moringa e Angico diminuiu linearmente com o incremento no teor de Al na solução nutritiva (Figura 1), o que corrobora os resultados de Pavan & Bingham (1982) e Braccini et al. (1998), mostrando que as espécies florestais estudadas foram sensíveis a partir do menor teor de Al utilizado na solução nutritiva.

O decréscimo na altura de plantas pode, segundo Cambraia et al. (1989), ser resultante da limitação na absorção de nutrientes pelas plantas, bem como da interferência na aquisição e no metabolismo nitrogenado, havendo diminuição na absorção e redução do nitrato em raízes, quando o Al se encontra em teores tóxicos. Ainda, o Al pode afetar o crescimento da parte aérea por meio da inibição na biossíntese de citocinina, hormônio que estimula a divisão celular nas raízes e subsequente decréscimo na sua translocação para os sítios de ação (Pan et al., 1989). Rengel (1992) afirma que o Al também dificulta o crescimento da parede celular, necessário ao alongamento celular, pelo deslocamento do Ca das pontes de ligação localizadas na sua camada interna, diminuindo o crescimento das plantas.

As duas espécies florestais estudadas apresentaram comportamento semelhante em relação à produção de matéria seca das raízes, sendo esta restringida a partir de 2,5 mg L⁻¹ de Al na solução nutritiva (Figura 1). Alves (1997) constatou que *Senna multijuca* e *Stenolobium stans* foram susceptíveis ao Al na solução nutritiva, a partir de 5 e 20 mg L⁻¹, respectivamente, e Mendonça et al. (1999) verificaram decréscimo de 50% na matéria seca das raízes de maracujá, no teor de 5 mg L⁻¹ de Al em solução nutritiva. Vale et al. (1996) observaram que o crescimento radicular do Angico Amarelo (*Peltophorium dubium*) foi pouco afetado na concentração de Al na solução do solo de 1,48 mg kg⁻¹.

A produção de matéria seca das raízes diminuiu com o incremento da concentração de Al na solução nutritiva, nas duas espécies, tendo o Angico apresentado decréscimo linear da produção de matéria seca da parte aérea (Figura 1), concordando com os resultados de Calbo & Cambraia (1980), Alves (1997) e Braccini et al. (1998). Segundo Calbo & Cambraia (1980), isto deve-se à alteração na absorção e translocação de nutrientes da raiz para a parte aérea. Outro aspecto, observado nas duas espécies florestais, foi a menor produção de matéria seca das raízes comparada à da parte aérea, indicando que o efeito tóxico do Al manifesta-se mais intensamente no sistema radicular, conforme também constatado por Pavan & Bingham (1982) e Alves (1997).

A toxidez de Al manifesta-se inicialmente no sistema radicular e, posteriormente, ocorre redução progressiva do crescimento da parte aérea com o

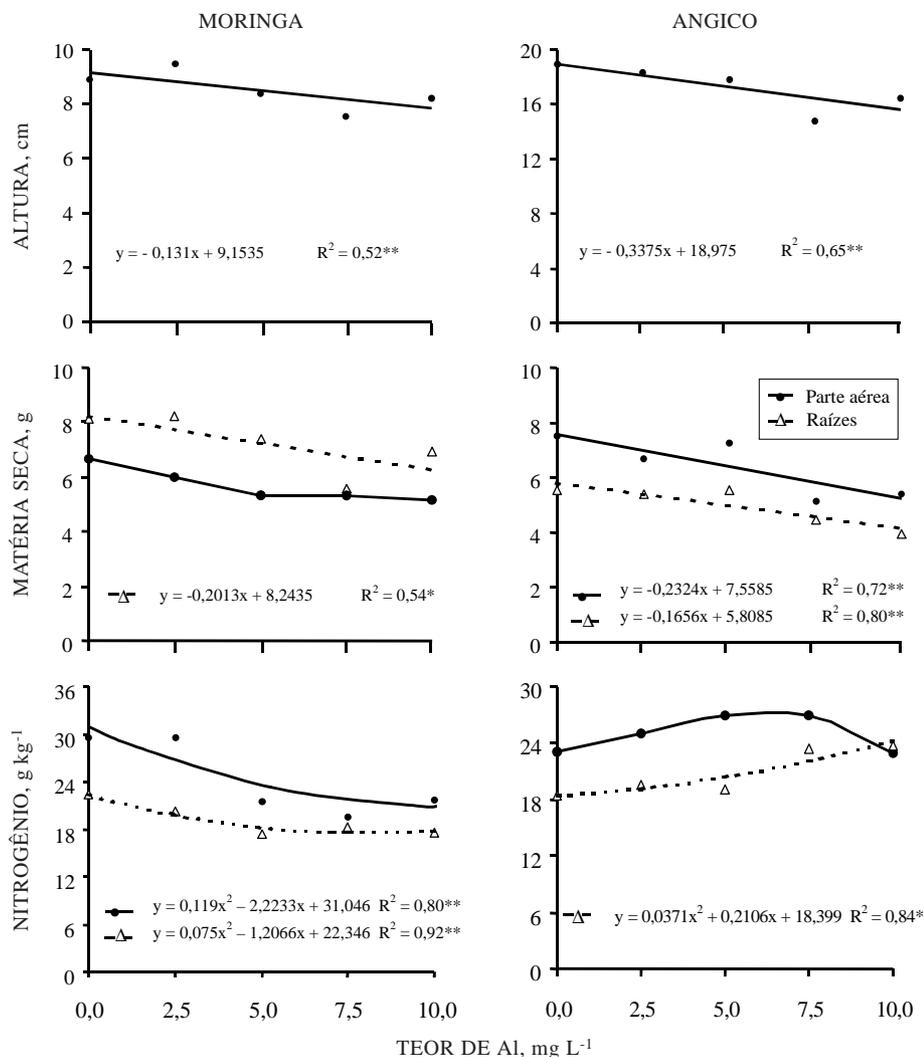


Figura 1. Altura, matéria seca e teor de N da parte aérea e das raízes da Moringa e do Angico em diferentes teores de Al na solução nutritiva.

incremento no nível de Al (Braccini et al., 1998), fato este que permite inferir que a Moringa foi mais tolerante, comparada ao Angico, pois a produção de matéria seca da parte aérea da Moringa não foi significativamente restringida até 10,0 mg L⁻¹ de Al na solução nutritiva.

O teor de N na matéria seca da parte aérea e das raízes da Moringa diminuiu com o incremento na concentração de Al na solução nutritiva (Figura 1), o que corrobora com os resultados de Gomes et al. (1985) e Cambraia et al. (1990). O Al, quando é encontrado em teores tóxicos, interfere na aquisição e no metabolismo nitrogenado, havendo diminuição na absorção, translocação e redução do nitrato em raízes (Gomes et al., 1985; Cambraia et al., 1989). No Angico, ocorreu incremento do teor de N na matéria seca das raízes com o incremento na concentração de Al na solução nutritiva, e na parte aérea não houve efeito do Al no teor de N.

O teor de P na parte aérea da Moringa e do Angico aumentou inicialmente até 5 mg L⁻¹, diminuindo a seguir com o incremento no teor de Al na solução nutritiva (Figura 2), concordando com os estudos de Pavan & Bingham (1982), que verificaram decréscimo na absorção e translocação de P para a parte aérea com o incremento do teor de Al na solução nutritiva. Alves (1997) verificou que em *Stenolobium stans* até o teor de 10,0 mg L⁻¹ de Al na solução nutritiva, não houve alteração na concentração de fósforo na planta. Segundo Foy (1988), a toxidez de Al geralmente reduz a concentração de P na parte aérea, mas o grau de interferência varia com a espécie e com o genótipo da planta. A capacidade de manutenção da absorção e da translocação de P é um mecanismo de tolerância das plantas ao Al (Cambraia et al., 1991).

O teor de P na matéria seca das raízes da Moringa diminuiu a partir de 5 mg L⁻¹ de Al na solução

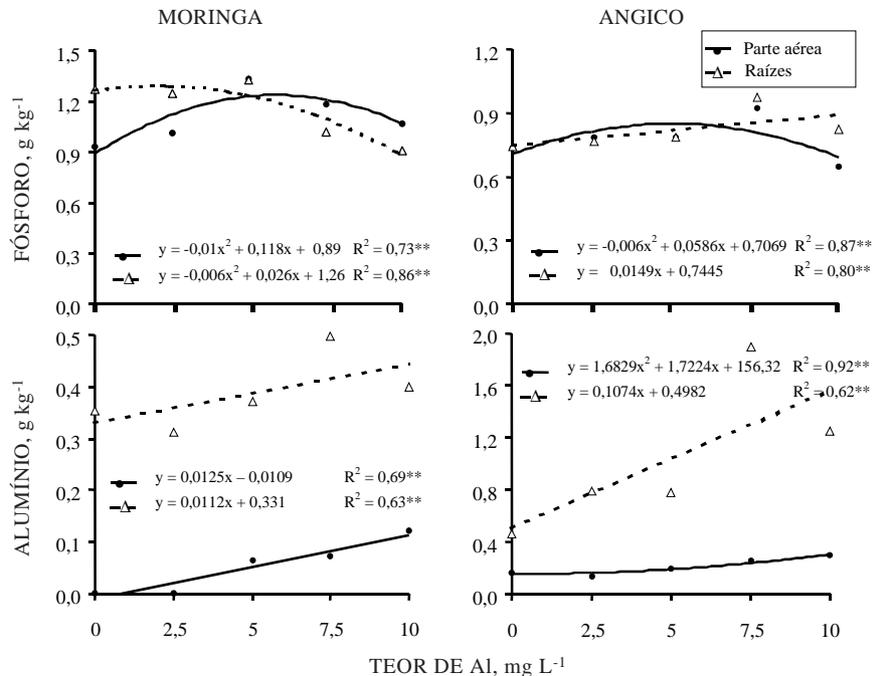


Figura 2. Teores de P e Al na matéria seca da parte aérea e das raízes da Moringa e do Angico em diferentes teores de Al na solução nutritiva.

nutritiva e, no Angico, ocorreu incremento progressivo do teor de P nas raízes e redução na parte aérea, com aumento dos teores de Al na solução nutritiva (Figura 2). Segundo Calbo & Cambraia (1980), o incremento do teor de P nas raízes com o incremento do Al na solução nutritiva é devido a reações de precipitação do P com Al na superfície ou no interior das células das raízes. Assim, o incremento do teor de P na matéria seca das raízes do Angico possivelmente está relacionado com o alto teor de Al nas raízes (Figura 2).

O teor de Al na matéria seca da parte aérea e das raízes das espécies aumentou com o incremento no teor do Al na solução nutritiva (Figura 2). Entretanto, o teor de Al na raiz foi superior ao da parte aérea, corroborando os resultados de Calbo & Cambraia (1980), Pavan & Bingham (1982), Oliveira & Rena (1989) e Mendonça et al. (1999). Segundo Wagatsuma (1984) e Massot et al. (1992), o Al acumula-se preferencialmente no sistema radicular, sendo pequenas quantidades de Al translocadas para a parte aérea das plantas, em decorrência de reações de precipitação do Al com ânions na raiz.

Visto que o Al interfere na absorção e translocação de nutrientes (Foy, 1988), na divisão celular (Pan et al., 1989) e na alongação celular (Rengel, 1992), o maior teor de Al na matéria seca das raízes do Angico possivelmente explica a redução progressiva na produção de matéria seca da parte aérea com o incremento na concentração de Al na solução nutritiva, podendo-se inferir que o Angico foi mais sensível ao Al em solução nutritiva.

CONCLUSÕES

1. A toxidez de Al na Moringa e no Angico caracterizou-se pela redução na altura das plantas e na produção de matéria seca e pelo aumento no teor de Al nas plantas.
2. A Moringa e o Angico apresentaram efeitos nocivos do Al em solução nutritiva a partir de 2,5 mg L⁻¹ de Al, tendo no Angico ocorrido redução da produção da matéria seca da parte aérea.
3. O Al na solução nutritiva reduziu os teores de N e P na parte aérea das duas espécies.

LITERATURA CITADA

- ALVES, R.M.N. Comportamento diferencial ao Al em solução nutritiva de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), sensível e tolerante e das espécies florestais Cássia Verrugosa (*Senna multijuga* (L.C. Rich.)) e Ipê Mirim (*Stenolobium stans* (Jun.)). Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1997. 92p. (Tese de Mestrado)
- BRACCINI, M.C.L.; MARTINEZ, H.E.P.; PEREIRA, P.R.G.; SAMPAIO, N.F. & SILVA, E.A.M. Tolerância de genótipos de cafeeiro ao Al em solução nutritiva. I. Crescimento e desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. R. Bras. Ci. Solo, 22:435-442, 1998.
- CALBO, A.G. & CAMBRAIA, J. Efeito do Al sobre a composição mineral de dois cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). R. Ceres, 27:369-378, 1980.

- CAMBRAIA, J.; GOMES, M.M.S.; SANT'ANNA, R. & ESTEVÃO, M.M. Efeito de diferentes níveis de Al na solução nutritiva sobre a composição da fração nitrogenada em sorgo. R. Bras. Fisiol. Veg., 2:47-52, 1990.
- CAMBRAIA, J.; PIMENTA, J.A.; ESTEVÃO, M.M. & SANT'ANNA, R. Aluminum effects on nitrate uptake and reduction in sorghum. J. Plant. Nutr., 12:1435-1445, 1989.
- CAMBRAIA, J.; SILVA, M.A.; CANO, M.A.O. & SANT'ANNA, R. Método simples para a avaliação de cultivares de sorgo quanto a tolerância ao Al. R. Bras. Fisiol. Veg., 3:87-95, 1991.
- CLARKSON, D.T. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. Plant Physiol., 41:165-172, 1966.
- EVANS, C.E. & KAMPRATH, E.J. Lime response as related to percent Al saturation, solution Al, and organic matter content. Proc. Soil Sci. Soc. Am., 34:893-896, 1970.
- FOY, C.D. Effects of aluminum in plant growth. In: CARSON, E.W., ed. The plant root and its environment. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p.601-642.
- FOY, C.D.; BURNS, G.R.; BROWN, J.C. & FLEMING, A.L. Differential aluminum tolerance of two wheat varieties associated with plant induced pH changes around the roots. Proc. Soil Sci. Soc. Am., 29:64-67, 1965.
- FOY, C.D.; CHANEY, R.L. & WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. An. Rev. Plant Physiol., 29:511-566, 1978.
- FOY, C.D. Plant adaptation to acid aluminum-toxic soils. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 19:959-987, 1988.
- GOMES, M.M.S.; CAMBRAIA, J.; SANT'ANNA, R. & ESTEVÃO, M.M. Aluminum effects on uptake and translocation of nitrogen in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). J. Plant Nutr., 8:457-465, 1985.
- MACKLON, A.E.S. & SIM, A. Modifying effects of a non-toxic level of aluminium on phosphate fluxes and compartmentation in root cortex cells of intact ryegrass seedlings. J. Exp. Bot., 43:1483-1490, 1992.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba, POTAFOS, 1989. 201p.
- MASSOT, N.; POSCHENRIEDER, C. & BARCELÓ, J. Differential response of three bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars to aluminum. Acta Bot. Neerl., 41:293-298, 1992.
- MCCORMICK, L.H. & BORDEN, F.Y. The occurrence of aluminum phosphate precipitate in plant roots. Proc. Soil Sci. Soc. Am., 38:931-934, 1974.
- MENDONÇA, R.M.N.; COELHO, A.F.S.; MARTINEZ, H.E.P.; FONTES, P.C.R. & PEREIRA, P.R.G. Resposta de mudas de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* Sims. F. *Flavicarpa* Deg.) cultivadas em solução nutritiva, a diferentes níveis de Al. R. Ceres, 46:357-370, 1999.
- MULLETTE, K.J. & HANNON, J.N. Insoluble phosphorus usage by *Eucalyptus*. Plant Soil, 41:199-205, 1974.
- OLIVEIRA, L.E.M. & RENA, A.B. Influência do Al sobre o comportamento nutricional de cultivares de mandioca em solução nutritiva. Pesq. Agropec. Bras., 24:1119-1130, 1989.
- PAN, W.L.; HOPKINS, A.G. & JACKSON, W.A. Aluminum inhibition of shoot lateral branches of *Glycine max* and reversal by exogenous cytokinin. Plant Soil, 120:1-9, 1989.
- PAVAN, M.A. & BINGHAM, F.T. Toxidez de Al em cafeeiros cultivados em solução nutritiva. Pesq. Agropec. Bras., 17:1293-1302, 1982.
- RENGEL, Z. Role of calcium in aluminum toxicity. New Phytol., 121:499-513, 1992.
- RHEINHEIMER, D.S.; PETRY, C.; KAMINSKI, J. & BARTZ, H.R. Influência do estresse de Al em plantas de fumo: I. Efeito no sistema radicular, na absorção de fósforo e cálcio e na produção de matéria seca. R. Bras. Ci. Solo, 18:63-68, 1994.
- RHUE, R.D. & GROGAN, C.O. Screening corn for Al tolerance using different Ca and Mg concentrations. Agron. J., 69:755-760, 1977.
- VALE, F.R.; FURTINI NETO, A.E.; RENÓ, N.B.; FERNANDES, L.A. & RESENDE A.V. Crescimento radicular de espécies florestais em solo ácido. Pesq. Agropec. Bras., 31:609-616, 1996.
- WAGATSUMA, T. Characteristics of upward translocation of aluminum in plants. Soil Sci. Plant Nutr., 30:345-358, 1984.