

# EFEITO DE ALUMÍNIO NAS RAÍZES DE ARROZ CULTIVADO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA<sup>1</sup>

LUIZ R. FREIRE<sup>2</sup>, NELSON MOURA B. AMARAL SOBRINHO<sup>3</sup>, MANLIO S. FERNANDES<sup>4</sup>,  
MARIA ELISA SOARES RIBEIRO<sup>5</sup> e JOSÉ CARLOS PEREIRA DOS SANTOS<sup>6</sup>

**RESUMO** - Em casa de vegetação foi estudado o efeito de níveis crescentes de alumínio (0 ppm, 0,5 ppm, 1 ppm, 2 ppm, 4 ppm e 8 ppm) na CTC, volume e peso seco das raízes de arroz (*Oryza sativa* L.) (IAC-25) em solução nutritiva. Os tratamentos foram realizados quinze dias após a emergência. Semanalmente era trocada a solução e medidos o pH (antes da troca) e teores de  $Al^{+++}$ . Com três semanas, as plantas foram colhidas e secadas em estufa, pesando-se raiz e parte aérea. O peso da parte aérea aumentou com doses crescentes de Al, com o máximo a 8 ppm de Al. O peso de raízes não diferiu significativamente nos três níveis mais elevados de Al. O Al não afetou o número de perfilhos, mas resultou em aumento do volume das raízes. A capacidade de troca de cátions (CTC) das raízes caiu significativamente, com os níveis crescentes de Al. Com 8 ppm a CTC das raízes foi 48,6% da CTC da testemunha. Observaram-se correlações positivas entre o peso seco da parte aérea, o pH final da solução ( $r = 0,960^{**}$ ) e o volume das raízes ( $r = 0,910^{*}$ ). Foram observadas correlações negativas entre a CTC das raízes, o peso seco da parte aérea ( $r = -0,970^{**}$ ) e o volume das raízes ( $r = -0,970^{**}$ ). Atribui-se a redução da CTC das raízes ao bloqueio não reversível de cargas negativas pelo Al, o que teria aumentado as atividades de  $H_2PO_4^-$  e  $NO_3^-$  ao nível da plasmalema favorecendo o crescimento das plantas.

Termos para indexação: capacidade de troca de cátions (CTC), *Oryza sativa*, toxidez de alumínio.

## EFFECT OF INCREASING LEVELS OF ALUMINIUM ON ROOTS OF RICE GROWN IN NUTRIENT SOLUTION

**ABSTRACT** - The effect of aluminium levels (0 ppm, 0.5 ppm, 1 ppm, 2 ppm, 4 ppm and 8 ppm) on the growth of rice (*Oryza sativa* L.) (IAC-25) was studied under greenhouse conditions. Treatments were applied fifteen days after seed germination. Weekly, pH and  $Al^{+++}$  levels were measured, and the nutrient solution was changed. After three weeks plants were harvested, oven dried, and shoots and roots weighted. The dry weight of the shoots increased with increasing Al level in solution, reaching a maximum at the 8 ppm level. The dry weight of roots also increased but differences were not significant among the three highest levels of Al. Al levels did not affect the tiller number but led to an increase in root volume. Root cation exchange capacity (CEC) decreased significantly with increasing Al levels. At 8 ppm, CEC was only 48,6% in relation to control. There were positive correlations between shoot dry weights, solution pH ( $r = 0,960^{**}$ ) and root volume ( $r = 0,910^{*}$ ). Correlations were negative between root CTC, shoot dry weight ( $r = 0,970^{**}$ ) and root volume ( $r = -0,970^{**}$ ). The decrease of the CEC of roots may be due to the irreversible blocking of root charges by Al. The positive effect of Al on plant growth, was considered to be due to this blocking of charges on the activity of  $H_2PO_4^-$  and  $NO_3^-$  at the plasmalemma.

Index terms: cation exchange capacity (CEC), Al toxicity, (*Oryza sativa* L.), rice growth.

## INTRODUÇÃO

Estudos em solução nutritiva tem mostrado que as diferenças de tolerâncias a níveis tóxicos de alumínio, entre espécies e cultivares, estão associados primariamente à magnitude das variações de pH

em torno de suas raízes (Foy et al. 1965, Mugwira & Patel 1977, Helyar 1978).

As formas iônicas do nitrogênio desempenham um papel importante nesse processo, uma vez que sua absorção e assimilação resultam em substancial produção citoplasmática de  $H^+$  ou  $OH^-$  (dependendo de ser a forma dominante  $NH_4^+$  ou  $NO_3^-$ ), com sua conseqüente extrusão para o meio extracelular (Israel & Jackson 1978). Segundo Foy et al. (1965) e Bartlett & Riego (1972) certas espécies tolerantes ao alumínio são caracterizadas pela capacidade em utilizar eficientemente o nitrato de modo a elevar o pH do meio, com conseqüente precipitação do alumínio. Por sua vez, Bassioni (1973) en-

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 27 de junho de 1986.

<sup>2</sup> Eng.-Agr., M.Sc., Prof.-Adjunto, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), CEP 23851 Seropédica, RJ.

<sup>3</sup> Eng.-Agr., M.Sc., Prof.-Assistente, UFRRJ.

<sup>4</sup> Eng. Agr., Ph.D. Prof.-Adjunto, UFRRJ.

<sup>5</sup> Enga.-Agra., Bolsista do Dep. de Solos, UFRRJ.

<sup>6</sup> Eng.-Agr., Bolsista do Dep. de Solos, UFRRJ.

controu efeito estimulante do alumínio em baixas concentrações, na absorção de nitrato por raízes destacadas de cevada e um efeito depressivo, em altas concentrações. Resultados diferentes foram obtidos por Kotze et al. (1977), que observaram redução na absorção de nitrato pela macieira e pessegueiro na presença de alumínio. Lance & Pearson (1969) observaram o mesmo em algodão.

Alguns autores também verificaram que o alumínio em baixas concentrações favorece a absorção de fósforo (Vale et al. 1984). Andrew & Berg (1973), avaliando o efeito do alumínio na absorção de fósforo por leguminosas tropicais, verificaram que as espécies que se mostravam mais tolerantes ao alumínio apresentavam maior absorção de fósforo quando o alumínio se fazia presente em baixas concentrações.

Outro mecanismo que parece favorecer a exclusão de alumínio do sistema radicular é a baixa capacidade de troca catiônica (CTC) nas raízes. A capacidade de troca catiônica (CTC) das raízes origina-se da dissociação de grupos carboxílicos ao nível da parede celular (Crooke & Knight 1972). A interfase apoplasto-solução pode ser dividida, conceitualmente em duas camadas à semelhança dos sistemas coloidais inorgânicos (Demarty et al. 1980). A primeira, sob influência direta da matriz polianiônica, da parede celular, tem sido denominada espaço livre de Donnan, e a outra independente, é conhecida como espaço livre de água, no sentido de que nela o fluxo de cátions e ânions é igual ao da solução externa (Demarty et al. 1980). Assim, dadas duas espécies vegetais, aquela com menor densidade de carga negativa, ao nível de apoplasto radicular, deveria oferecer menos restrição ao fluxo de cátions monovalentes em relação aos bivalentes até os locais de absorção da plasmalema (Crooke 1964, Helyar 1978). Os conceitos anteriores têm sido também aplicados ao estudo da resistência à toxidez de alumínio, visto que, presumivelmente, numa espécie tolerante, baixa CTC deve favorecer maior exclusão de íons trivalentes em relação aos bi e monovalentes, (Vose & Randall 1962, Helyar 1978). Por outro lado, em espécies tolerantes que acumulam alumínio nas raízes, é de esperar que o progressivo bloqueio de cargas negativas no espaço livre, facilite a absorção aniônica (Foy 1974).

Neste trabalho, estudam-se os efeitos de níveis crescentes de alumínio sobre a CTC, volume e peso seco das raízes de arroz (IAC-25) cultivado em solução nutritiva.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação e as plantas foram cultivadas em solução nutritiva.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com cinco concentrações de alumínio e três repetições.

A composição da solução nutritiva usada está indicada na Tabela 1.

Inicialmente, sementes de arroz (IAC-25), foram postas a germinar em areia lavada, sendo umedecidas quando necessário, com solução nutritiva. Quinze dias após a emergência, as plântulas foram transferidas para vasos de plástico pintados com tinta prateada, com dois litros de capacidade. Foram colocadas, inicialmente doze plântulas/vaso. Após sete dias, foi feito um desbaste, deixando-se oito plantas/vaso. O pH da solução foi ajustado para 4,2 e foram acrescentados os seguintes níveis de alumínio: 0 ppm, 0,5 ppm, 1 ppm, 2 ppm, 4 ppm e 8 ppm, na forma de cloreto de alumínio. Nesta fase experimental o pH e a concentração de alumínio eram medidos ao final de cada semana, isto é, antes da troca da solução nutritiva. Após três semanas de tratamento experimental, as plantas foram colhidas após o registro do número de perfilhos por vaso. As raízes foram separadas da parte aérea, secadas ligeiramente (com toalha de papel) e imersas em uma proveta, para aferição do volume radicular. O material colhido (parte aérea e raízes) foi, subsequentemente secado (70°C) e determinado o seu peso. As raízes foram posteriormente moídas (Wiley, 40 mesh) e determinada a CTC pelo método de Crooke (1964).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se um aumento do peso seco das raízes e parte aérea com doses crescentes de alumínio na solução nutritiva (Tabela 2). Este efeito positivo do alumínio sobre a acumulação de matéria seca por arroz é mais acentuado no caso da parte aérea, com o máximo de produção de matéria seca ocorrendo ao nível mais elevado de alumínio na solução (8 ppm). Nas raízes, as diferenças não são significativas a partir de 1 ppm de alumínio.

O número de perfilhos não foi afetado pelo aumento da concentração de alumínio na solução enquanto que o volume de raízes aumentou (Tabela 2). Estes resultados, se comparados aos de Fernandes et al. (1984), mostram que não houve efei-

to negativo do alumínio sobre o crescimento das plantas, nas condições deste experimento. A Tabela 2 mostra entretanto que houve uma sensível redução da CTC das raízes como resposta aos níveis crescentes de alumínio na solução. Ao nível de 8 ppm, a CTC das raízes é apenas 48,7% da CTC das plantas-testemunha. Este resultado é semelhante ao observado por Arruda et al. (1983) com *Brachiaria decumbens*, quando, em solução nutritiva sob  $N-NO_3^-$ . A CTC das raízes com 6 ppm de Al, foi de 39,7% da testemunha (0 ppm de Al). A redução da CTC induzida por alumínio na solução pode ser atribuída ao caráter semi-covalente das ligações de alumínio com a superfície negativa das raízes (Klimashevskii & Dedov 1976).

O bloqueio das superfícies negativas da raiz pelo alumínio resulta em significativo decréscimo

da repulsão aniônica através da parede celular (Franklin 1970), resultando indiretamente em um aumento da atividade de espécie iônica como  $H_2PO_4^-$  e  $NO_3^-$  ao nível da plasmalema. Este efeito de cátions bivalentes e trivalentes sobre a absorção de ânions (principalmente  $NO_3^-$  e  $H_2PO_4^-$ ) pode em parte explicar efeitos positivos das doses crescentes de alumínio sobre o acúmulo de matéria seca por arroz, neste experimento.

A redução da CTC favorece a absorção de cátions monovalentes em relação aos bivalentes (Fernandes et al. 1984, Wacquart 1977). Aumentos de potássio na raiz e parte aérea, e de fósforo na raiz de *Brachiaria decumbens*, foram também observadas por Arruda et al. (1983), quando essas plantas foram submetidas a níveis crescentes de alumínio (0 ppm e 6 ppm) em solução nutritiva.

TABELA 1. Solução nutritiva básica usada no experimento.

Elemento	Concentração	Forma
N	15 mM	$NH_4H_2PO_4$ , $KNO_3$ e $Ca(NO_3)_2$
P	1 mN	$NH_4H_2PO_4$
K	6 mN	$KNO_3$
Ca	4 mN	$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$
Mg	2 mN	$MgSO_4$
S	2 mN	$MgSO_4$
B	0,5 ppm	$H_3BO_3$
Mo	0,01 ppm	$H_2MoO_4 \cdot 4H_2O$
Fe	1 ppm	Citrato férrico
Cu	0,03 ppm	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$
Mn	0,5 ppm	$MnCl_2 \cdot 4H_2O$
Cl	0,6 ppm	NaCl
Zn	0,05 ppm	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$

TABELA 2. Efeitos de níveis crescentes de alumínio sobre parâmetros de crescimento de arroz (IAC-25), cultivado em solução nutritiva.

Concentração de Al (ppm)	Peso seco (g)		Número de perfilhos	Volume de raízes ( $cm^3$ )	CTC de raízes (meq/100 g)
	Parte aérea	Raízes			
0,0	8,35 a	3,25 c	24 a	16,40 d	9,08 a
0,5	10,62 d	3,37 bc	30 a	16,90 d	7,95 a
1,0	11,50 cd	3,80 abc	28 a	24,22 c	6,27 b
2,0	11,85 bc	4,07 a	27 a	28,00 b	5,80 b
4,0	12,67 b	4,20 a	27 a	31,36 ab	5,15 bc
8,0	14,20 a	4,00 ab	28 a	32,33 a	4,42 c

Os resultados de Arruda et al. (1983) e Fernandes et al. (1984), com *Brachiaria* em solução nutritiva, mostram entretanto que ao nível de 6 ppm de alumínio na solução ocorre uma sensível redução no peso seco, no perfilhamento e no volume das raízes, o que não é observado neste experimento. Exceto pela hipótese de extrema tolerância de alumínio, este efeito poderia ser atribuído a prováveis flutuações na concentração real de espécies iônicas de alumínio, que exercem efetiva ação tóxica sobre as plantas (Rhue & Grogan 1977). Os níveis de alumínio observados na Tabela 3, podem sugerir esta possibilidade. Por outro lado a grande variação de pH observada na terceira semana após o desbaste (Tabela 3) sugerem uma rápida absorção de  $\text{NO}_3^-$ , com conseqüente extrusão de  $\text{OH}^-$  ( $\text{HCO}_3^-$ ). Este provável aumento na absorção de  $\text{NO}_3^-$  poderia ser atribuído ao bloqueio pela Al das cargas negativas das raízes nesta fase do experimento. As variações de pH na terceira semana,

parecem ter exercido influência decisiva sobre o acúmulo de matéria seca pelas plantas (Fig. 1A). Por outro lado, a correlação negativa entre a CTC das raízes e o acúmulo de matéria seca (Fig. 1B), confirma os resultados de Helyar (1978) sobre a exclusão de alumínio do sistema radicular em virtude de uma baixa CTC.

A correlação positiva e significativa entre acúmulo de matéria seca e volume radicular ao lado da correlação negativa e altamente significativa entre CTC de raízes e volume radicular (Tabela 2 e Fig. 1C e 1D) parece confirmar a hipótese de interrelacionamento entre o bloqueio de cargas pelo alumínio e crescimento das plantas, na seguinte seqüência: absorção de ânions (principalmente  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) facilitada pela redução da repulsão aniônica  $\rightarrow$  extrusão de  $\text{OH}^-$  ( $\text{HCO}_3^-$ ) como resposta à absorção de  $\text{NO}_3^- \rightarrow$  aumento do pH da solução e precipitação do alumínio tóxico (Tabela 3) acúmulo de matéria seca pela raiz e parte aérea.

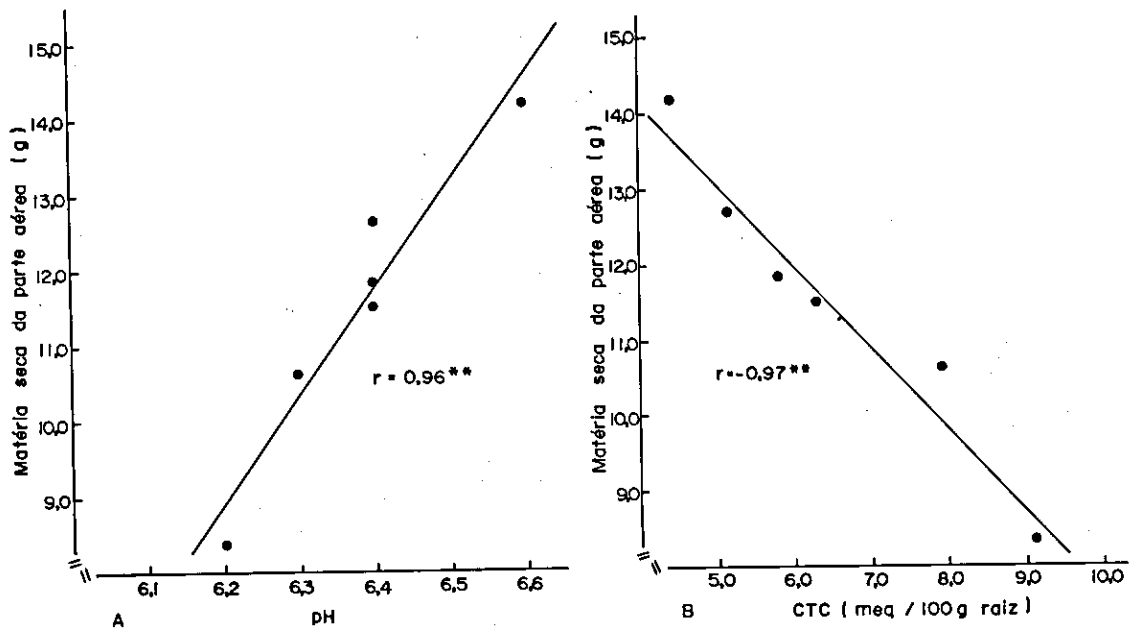


FIG. 1. A. Relações entre matéria seca da parte aérea de arroz (IAC-25) e pH da solução nutritiva na 3ª semana experimental.

B. Relações entre matéria seca da parte aérea e CTC das raízes de arroz (IAC-25).

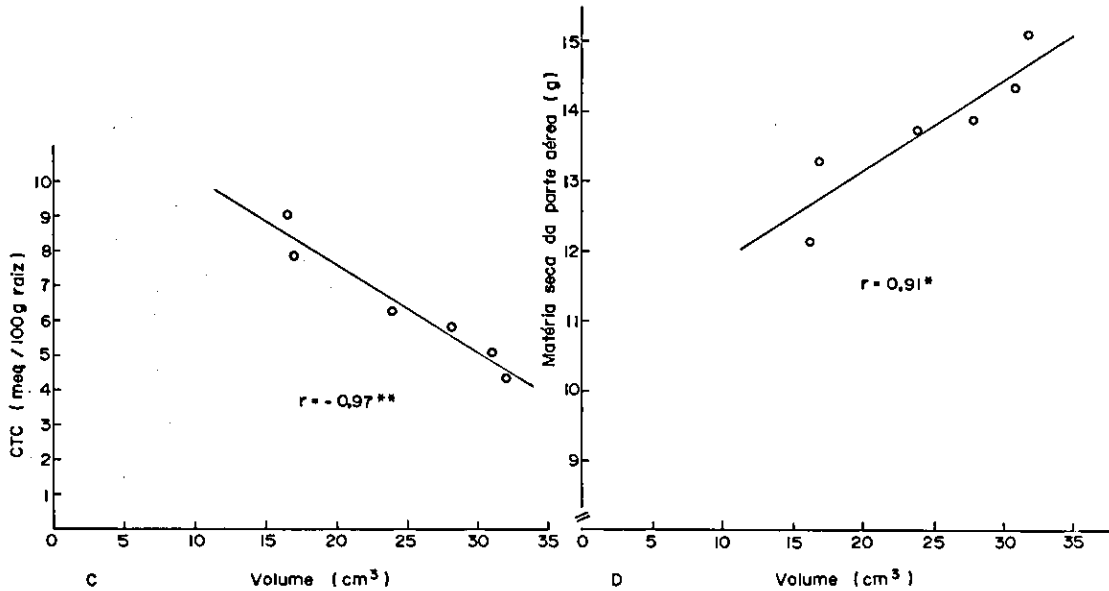


FIG. 1. C. Relações entre CTC das raízes e volume de raízes de arroz (IAC-25).  
D. Relações entre matéria seca da parte aérea e volume das raízes de arroz (IAC-25).

TABELA 3. Variações médias de pH e teores de alumínio na solução nutritiva, na primeira, segunda e terceira semanas de período experimental.

Al (ppm)	Primeira semana		Segunda semana		Terceira semana	
	pH	Al <sup>+++</sup> (ppm)	pH	Al <sup>+++</sup> (ppm)	pH	Al <sup>+++</sup> (ppm)
0,0	3,6	0,00	3,3	0,00	6,2	0,00
0,5	3,6	0,50	3,5	0,47	6,3	0,10
1,0	3,9	0,58	3,3	0,45	6,4	0,00
2,0	3,7	0,65	3,3	0,44	6,4	0,10
4,0	3,7	0,47	3,3	0,46	6,4	0,00
8,0	3,6	0,44	3,6	0,51	6,6	0,00

### CONCLUSÕES

1. O aumento de peso seco das plantas com doses crescentes de Al, neste experimento, pode ser tentativamente atribuído ao efeito positivo do bloqueio de cargas negativas das raízes pelo Al sobre a difusão de ânions principalmente  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  até os sítios de absorção na plasmalema. Esta hipótese parece ser apoiada pela variação de pH com

o tempo (possivelmente em decorrência do transporte *antiport* de  $\text{NO}_3^-$  x  $\text{HCO}_3^-$ ) e sua correlação positiva com o crescimento.

2. A correlação negativa entre CTC de raízes e o peso seco confirma dados da literatura (Fernandes et al. 1984, Arruda et al. 1983) sobre o efeito negativo da alta CTC sobre a toxidez de Al em plantas.

## REFERÊNCIAS

- ANDREW, C.S. & BERG, P.J. van den. The influence of aluminum on phosphate sorption by whole plants and excised roots of some pasture legumes. *Aust. J. Agric. Res.*, 24:341-51, 1973.
- ARRUDA, M.L. da R.; FERNANDES, M.S.; ROSSIELLO, R.O.P. Alumínio e nitrogênio, nas variações do pH e capacidade de troca iônica em *Brachiaria decumbens*. *Pesq. agropec. bras.*, 18(9):1031-8, 1983.
- BARTLETT, R.J. & RIEGO, D.C. Toxicity of hidroxyl aluminum in relation to pH and phosphorus. *Soil Sci.*, 114:194-200, 1972.
- BASSIONI, N.H. On the mechanism of nitrate uptake by plant roots. II. Effect of the valence of the associated cation. *Agrochimica*, 17:341-6, 1973.
- CROOKE, W.M. The measurement of the cation exchange capacity of plant roots. *Plant Soil*, 21:325-39, 1964.
- CROOKE, N.M. & KNIGHT, A.H. An evaluation of published data on the mineral composition of plants in the light of the cation exchange capacities of their roots. *Soil Sci.*, 93:365-73, 1972.
- DEMARTY, M.; RIPOLL, C.; THELLIER, M. Ion exchange in plant cell walls. In: SPNSWICH, R.M.; LUCAS, W.J.; DAIWY, J., ed. *Plant membrane transport; conceptual issues*. Amsterdam, Elsevier/North-Holland Biomedical, 1980p. 33-44.
- FERNANDES, M.S.; ROSSIELLO, R.O.P.; ARRUDA, M.L. da R. Relações entre capacidade de troca de cátions de raízes e toxidez de alumínio em duas gramíneas forrageiras. *Pesq. agropec. bras.*, 19(5):631-7, 1984.
- FOY, C.D. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E.W., ed. *The plant root and its environment*. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p.601-42.
- 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 their roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 29: 64-7, 1965.
- FRANKLIN, R.G. Effect of adsorbed cation on phosphorus absorptions by various plants species. *Agron. J.*, 62:214-6, 1970.
- HELYAR, K.R. Effects of aluminum and manganese toxicities on legume growth. In: MINERAL nutrition of legumes in tropical and subtropical soils. Melbourne, CSIRO, 1978. p.207-32.
- ISRAEL, D.W. & JACKSON, W.A. The influence of nitrogen nutrition on ion uptake and translocation by leguminous plants. In: MINERAL nutrition of legumes in tropical and subtropical soils. Melbourne, CSIRO, 1978. p.113-30.
- KLIMASHEVSKII, E.L. & DEDOV, V.M. Localization of the mechanism of growth inhibiting action of  $Al^{+3}$  in longating cell walls. *Sov. Plant Physiol.*, 22:1040-6, 1976.
- KOTZE, W.A.G.; SHEAR, C.B.; FAUST, M. Effect of nitrogen source and aluminum in nutrient solution on the growth and mineral nutrition of apple and peach seedlings. *J. Am. Soc. Hortic.*, 102:279-82, 1977.
- LANCE, J.C. & PEARSON, R.N. Effect of low concentrations of aluminum on growth and water and nutrient uptake by cotton roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 33: 95-8, 1969.
- MUGWIRA, L.M. & PATEL, S.V. Root zone pH changes and ion uptake imbalances by triticale, wheat and rye. *Agron. J.*, 69:719-22, 1977.
- RHUE, R.D. & GROGAN, C.O. Screening corn for Al tolerance using different Ca and Mg concentrations. *Agron. J.*, 65:755-60, 1977.
- VALE, F.R.; NOVAIS, R.F. de; BARROS, N.F. de; MILAGRES, B.G. Absorção de nitrato e amônio por raízes intactas de milho pré-tratadas com alumínio. *R. bras. Ci. Solo*, 8:215-8, 1984.
- VOSE, P.B. & RANDALL, P.S. Resistance to aluminum and manganese toxicities in plants related to variety and cation-exchange capacity. *Nature, London*, 196: 85-6, 1962.
- WACQUANT, J.P. Physicochemical selectivity formations and CEC of grass roots. *Plant Soil*, 47:257-62, 1977.