

# CARACTERÍSTICAS INDICATIVAS DE SENSIBILIDADE AO ALUMÍNIO EM ARROZ. I. CRESCIMENTO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA<sup>1</sup>

FABIANO MASCARENHAS PAULO VICENTE<sup>2</sup>, ROBERTO OSCAR PEREYRA ROSSIELLO<sup>3</sup>e MAURÍCIO BALLESTEIRO PEREIRA<sup>4</sup>

RESUMO - Neste experimento avaliou-se a sensibilidade de várias características de plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) (área foliar, AF; área radicular, AR; comprimento máximo radicular, CR; comprimento máximo foliar, CF; número de raízes, NR; peso de massa seca radicular, PR; peso de massa seca da parte aérea, PA), a doses de Al (0, 10, 20 e 30 mg L<sup>-1</sup>) em solução nutritiva, visando estabelecer uma ordem seqüencial de resposta. Os valores das características foram representados pela média de 20 genótipos. Plântulas de 20 dias foram transferidas para solução nutritiva a pH 4,0 e arranjadas de forma inteiramente casualizada com quatro repetições. Os resultados foram expressos em termos de rendimento relativo (RR %). Foram ajustadas equações de regressão, segundo um modelo exponencial, entre os valores de RR (exceto do NR que não mostrou resposta) e os níveis de Al adicionados. A ordem de sensibilidade foi deduzida pela comparação pareada dos coeficientes *b* das equações pelo teste t. Concluiu-se que o RR da AR resultou no indicador mais sensível, seguido estreitamente pelos RR da AF e do CR. No outro extremo, o RR do CF resultou no menos sensível; os RR do PR e do PA mostraram sensibilidade intermediária.

Termos para indexação: *Oryza sativa*, rendimento relativo, área radicular, área foliar, comprimento radicular.

## INDICATIVE TRAITS OF ALUMINIUM SENSIBILITY IN RICE. I. GROWTH IN NUTRIENT SOLUTION

ABSTRACT - In this experiment, it was evaluated the sensibility of several rice (*Oryza sativa* L.) plant traits (leaf area, LA; root area, RA; maximum root length, RL; maximum leaf length, LL; root number, RN; root dry weight, RDW; shoot dry weight, SDW) at different Al levels (0, 10, 20 e 30 mg L<sup>-1</sup>) in nutrient solution, aiming to establish a sequential response order. Trait values were represented by averaged values of 20 genotypes. Twenty days old seedlings were transferred to nutrient solution at pH 4.0 and arranged in a random design with four replications. Results were expressed as relative yield (RY %). Regression equations were fitted according to an exponential model between RY values (except for RN RY which did not show any response) and Al added levels. Sensibility order was deduced by paired t-test comparisons from *b* coefficients. It was concluded that RA RY resulted the most sensible indicator, closely followed by LA RY and RL RY. On the other extreme, LL RY resulted the least sensible trait while RDW RY and SDW RY showed intermediate sensibility.

Index terms: *Oryza sativa*, relative yield, root area, leaf area, root length.

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 23 de junho de 1997.

<sup>2</sup> Eng. Agr., M.Sc., Dep. de Solos, UFRRJ, Km 47 da Antiga Rio-São Paulo, CEP 23851-970 Seropédica, RJ. Bolsista do CNPq.

<sup>3</sup> Eng. Agr., Dr., Prof. Adjunto, Dep. de Solos, UFRRJ. Bolsista do CNPq.

<sup>4</sup> Eng. Agr., Dr., Prof. Adjunto, Dep. de Genética, UFRRJ.

## INTRODUÇÃO

Embora o arroz (*Oryza sativa* L.) seja considerado uma das espécies cultivadas com maior tolerância ao Al (Fageria et al., 1988), existem variações genotípicas bem documentadas na literatura (Howeler & Cadavid, 1976; Furlani & Hanna, 1984; Fageria et al., 1988; Jan & Pettersson, 1989; Ferreira et al., 1995).

Têm sido realizados, de longa data, numerosos estudos, em solução nutritiva, com intuito de caracterizar os danos causados pelas espécies iônicas de Al ao crescimento vegetal. Em estudos de curto prazo (exposição de poucas horas ou dias), a toxidez manifesta-se, primariamente, no meristema e região de alongação celular, com reflexos imediatos na taxa de crescimento radicular (Bennet & Breen, 1991; Kochian, 1995). Em estudos envolvendo exposições mais longas do sistema radicular, a toxidez se manifesta por meio de um conjunto de sintomas que expressa o efeito continuado do Al no crescimento do sistema radicular, da parte aérea e na

absorção e utilização de nutrientes (Fageria et al., 1988, 1989; Fernandes & Rossiello, 1995). Tais sintomas incluem reduções em peso da massa seca e número de raízes, no comprimento e na área radicular, freqüentemente associados a um aumento no raio médio e volume radicular (Furlani & Hanna, 1984; Mendonça, 1991; Sivaguru et al., 1992). Na parte aérea têm sido descritas reduções em peso de massa seca e altura da planta (Fageria, 1982; Fahl et al., 1982; Sivaguru & Paliwal, 1993). Ao comparar esses sintomas como indicadores de toxidez para propósitos de avaliação genotípica, os resultados têm sido diversos. Fageria et al. (1989) concluíram que o peso da massa seca da parte aérea e raízes foram mais suscetíveis à toxidez de Al que a altura da planta ou o comprimento radicular.

Jan & Pettersson (1989) observaram que a produção relativa (+Al/-Al) da parte aérea foi melhor indicador de sensibilidade que a produção relativa de massa seca de raízes ou o comprimento radicular relativo. Mendonça (1991), numa comparação entre 50 genótipos de arroz de sequeiro, concluiu que a produção relativa de matéria seca total e área radicular foram os indicadores mais apropriados para agrupar cultivares em cinco classes de tolerância. Alguns autores têm enfatizado o comprimento máximo radicular como a característica mais adequada na diferenciação de cultivares tolerantes ao Al (Howeler & Cadavid, 1976; Fageria & Zimmermann, 1979; Furlani & Hanna, 1984). Outros ainda consideram uma combinação de rendimento relativo de peso de massa seca de raízes, parte aérea e comprimento radicular (Sivaguru et al., 1992). Diferenças em tempo de exposição ao Al, composição e força iônica da solução, atividade de ligantes e pH inicial, estão na base de algumas das diferenças observadas entre esses experimentos. Outro fator relevante é a sensibilidade genotípica diferencial aos níveis de Al adicionados. Baixos níveis de Al em solução podem ter efeito estimulante sobre as plântulas de arroz (Freire et al., 1987), mas a maior parte das cultivares são seriamente afetadas a altas concentrações (Fageria, 1982; Fernandes & Rossiello, 1995).

No presente trabalho foram usadas cultivares ou linhagens cuja tolerância ao Al foi avaliada através da sua produtividade, quando cultivadas em Latossolo com alta saturação de Al, em experimento conduzido por Ferreira et al. (1986). O objetivo deste trabalho foi avaliar a sensibilidade de várias características (área foliar e radicular, peso da massa seca da parte aérea e raízes e número de raízes), visando estabelecer uma relação de sensibilidade entre elas, em condições de solução nutritiva.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados 20 genótipos escolhidos entre os 30 cultivados por Ferreira et al. (1986), em parcelas com alta (77%) e baixa (18%) saturação de Al, em Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Rondônia. Na Tabela 1 são apresentados os genótipos e suas classes de tolerância ao Al e responsividade ao calcário.

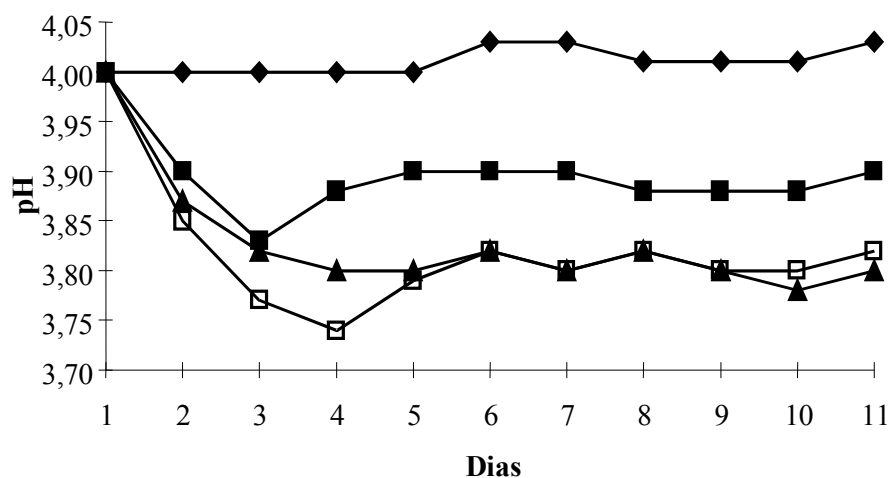
As sementes, originárias da Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), foram desinfetadas superficialmente, mediante imersão por 30 minutos em solução de NaOCl (2%), seguida de lavagem, por igual período, com água deionizada e esterilizada. Subseqüentemente, foram postas para germinar em bandejas de plástico contendo vermiculita como substrato, cobertas com papel toalha e umedecidas. Após germinação, as plântulas foram mantidas no substrato em condições de laboratório. Aos 20 dias de idade foram transplantadas para frascos de vidro translúcidos, de 235 mm de altura e 350 mL de capacidade, com tampas rosqueadas, perfuradas para a passagem de uma seção de tubo de polietileno de 50 mm de comprimento para sustentar uma planta por frasco.

Cada frasco continha 300 mL de solução nutritiva de Furlani & Furlani (1988), formulada a 50% da concentração original. Os níveis de Al adicionados foram de 0, 10, 20 e 30 mg L<sup>-1</sup> na forma de AlK (SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.12H<sub>2</sub>O. Os frascos foram arranjados dentro de caixas com divisórias internas, de modo a estarem protegidos da incidência de luz. As caixas foram colocadas sob uma campânula de cor branca, contendo lâmpadas fluorescentes e incandescentes, que forneceu uma intensidade de fluxo adicional de 160 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, durante 12 horas dia<sup>-1</sup>. A temperatura do ar não foi controlada, sendo a sua flutuação diária registrada por termômetro de máximas e mínimas, colocado junto à massa foliar. Após 10 dias, a solução nutritiva foi renovada, ocasião em que foi ajustada para concentração plena, para mais 11 dias de crescimento.

**TABELA 1. Genótipos de arroz avaliados e suas classes de tolerância ao Al e responsividade ao calcário.**

Classe <sup>1</sup>	Genótipos
SR	GA 4193, GA 4833, BR 1, IAC 4440 164
SNR	CNA 4135, CNA 4123
TR	Lebonnet, CNA 4115, GA 4141, GA 4098, GA 4172
TNR	Ga 4160, CNA 4119, CNA 4235, IRAT 112, IAC 4440 114, CNA 4120, Lageado, CNA 4146

<sup>1</sup> Tolerância ao Al: T = tolerante e S = sensível; resposta ao calcário: R = responsiva e NR = não-responsiva.  
Fonte: Ferreira et al. (1986).



**FIG. 1. Variação do pH da solução nutritiva do genótipo cna 4115 em função das concentrações de Al (● - 0; ★ - 10; ✱ - 20; ▲ - 30 mg al l<sup>-1</sup>), durante 11 dias de crescimento.**

Os valores de pH da solução, medidos diariamente, indicaram que a adição de Al acidificou a solução abaixo do valor basal (4,0). Valores médios por ocasião da coleta foram de  $3,96 \pm 0,024$ ;  $3,87 \pm 0,019$ ;  $3,84 \pm 0,016$  e  $3,83 \pm 0,053$  para os níveis 0, 10, 20 e 30 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. Houve pouca variação entre genótipos. Na Fig. 1 é mostrada, a título de exemplo, a variação observada no genótipo CNA 4115 durante 11 dias de crescimento em solução com força iônica total.

Ao final de cada período de crescimento as plantas foram colhidas, para avaliação da área foliar (AF); área radicular (AR); comprimento máximo radicular (CR); comprimento máximo foliar (CF); número de raízes (NR); peso de massa seca radicular (PR) e da parte aérea (PA). Para determinação de AR e AF usou-se um medidoreletrônico (Li - Cor 3000), como discutido por Rossiello et al. (1995). Os pesos foram determinados após secagem por 72 horas em estufa com circulação de ar, a 70°C.

Como o objetivo deste trabalho era o estudo da sensibilidade das características vegetativas à toxidez de Al e não a comparação de diferenças específicas, foram utilizados para análise os valores médios dos 20 genótipos. Todos os valores absolutos foram transformados em rendimento relativo (RR, %), como sugerido por Jan & Pettersson (1989). Os valores de RR foram calculados como cociente entre o valor da variável a um determinado nível de Al e o valor da variável no nível 0 de Al. Os valores médios de RR% foram testados para normalidade de distribuição pelo teste de Lilliefors. Todas as distribuições mostraram valores calculados abaixo do nível crítico ( $p = 0,05$ ) e foram submetidos à análise de variância convencional, segundo um desenho inteiramente casualizado, com três níveis de Al e quatro repetições.

Foram ajustadas equações entre RR e níveis de Al adicionado, segundo modelo da forma  $RR = a \exp(-bAl)$ , onde  $a$  e  $b$  são parâmetros de regressão. A expressão linearizada da equação acima, obtida por transformação Ln (logaritmo neperiano) dos dados originais, foi usada para testar diferenças estatísticas entre os coeficientes  $b$ . Todos os coeficientes foram contrastados entre si, de forma pareada, por emprego do teste t, considerando os quadrados médios de cada par de regressões testadas (Neter & Wasserman, 1974) e o ajuste dos graus de liberdade para obtenção dos valores de t tabelado (Hoel, 1968). Esse procedimento permite resultados aproximados, mas considerados satisfatórios para este caso.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são mostrados os valores médios intergenotípicos de RR da AF, AR, CR, PR, CF, NR e PA. O Al afetou significativamente todas as características avaliadas, com exceção de NR, possivelmente pelo fato de o Al ter sido adicionado tardiamente (20 dias após a germinação). A máxima redução de rendimento foi observada em AR (57%) e a mínima em CF (28%), ao nível de 30 mg Al L<sup>-1</sup>. Nesse nível, os RR do PA e do PR mostraram redução similar, enquanto o RR da AF resultou ligeiramente mais sensível (51%). Observa-se também que os níveis intermediários (10 e 20 mg Al L<sup>-1</sup>) não discriminaram os genótipos em nenhuma das características estudadas. Jan & Pettersson (1989), usando análise de variância convencional, encontraram a mesma dificuldade de separação da sensibilidade diferencial entre 140 e 560 µM de Al adicionado à solução (aproximadamente 4 a 15 mg Al L<sup>-1</sup>), com base em comprimento relativo de parte aérea e raízes. No presente caso, essa falta de sensibilidade nos níveis de 10 e 20 mg Al L<sup>-1</sup>, pode ser a expressão de pelo menos dois fatores. Por um lado, os níveis de redução em RR foram menores que os observados em outros experimentos (Fageria et al., 1988; Sivaguru et al., 1992), possivelmente como reflexo de um período mais longo de exposição ao Al e da própria idade das plantas por ocasião da imposição do estresse. Por outro lado, cada média corresponde a 20 genótipos e aconteceu um alto coeficiente de variação amostral, o que era de se esperar em vista da variabilidade genotípica quanto à tolerância ao Al das cultivares empregadas no estudo (Tabela 1).

No nível de 10 mg Al L<sup>-1</sup> alguns genótipos mostraram efeito estimulatório do Al, conduzindo a valores de RR superiores a 100%, em repetições isoladas, particularmente da AR e do CR. Respostas semelhantes foram descritas por Howeler & Cadavid (1976), Fageria (1982) e Fernandes & Rossiello (1995). Por essas incertezas, os valores foram trabalhados por análise de regressão, procedimento mais apropriado que a análise de variância convencional no tratamento de respostas a doses crescentes da variável independente (Pimentel-Gomes, 1985). A Fig. 2 mostra as equações de regressão ajustadas aos valores das repetições para cada nível de Al, nas seis características comparadas, uma vez que o NR foi descartado na análise inicial pela sua ausência de sensibilidade (Tabela 2). Uma equação exponencial, da forma  $RR = a \exp(-bAl)$  explicou entre 83 e 94% da variação total no conjunto das características avaliadas. O parâmetro  $a$  na equação de regressão é um estimador do RR no nível 0 de Al, e não diferiu significativamente ( $p \leq 0,05$ ) de 100% em nenhuma das equações. O parâmetro  $b$  da equação é um estimador da taxa de declínio relativo do RR por unidade de Al adicionado. Portanto, maior o valor do coeficiente, maior o efeito tóxico do Al sobre a característica avaliada. Os coeficientes foram comparados estatisticamente pelo teste  $t$  e os resultados são mostrados na Tabela 3.

**TABELA 2. Rendimento relativo (rr%) de sete características de plantas de arroz cultivadas em solução nutritiva, em resposta à adição de quatro níveis de Al<sup>1</sup>.**

Característica <sup>2</sup>	Al adicionado (mg L <sup>-1</sup> )			
	0	10	20	30
AF	100,0 a	74,8 ab	60,9 ab	50,7 b
AR	100,0 a	78,6 ab	56,8 ab	43,0 b
NR	100,0 a	96,4 a	95,1 a	94,7 a
CR	100,0 a	80,8 ab	60,5 ab	53,0 b
CF	100,0 a	84,3 ab	76,5 b	72,0 b
PR	100,0 a	83,1 ab	70,4 ab	56,7 b
PA	100,0 a	76,4 ab	64,3 ab	53,9 b

<sup>1</sup> Os valores são médias de 20 genótipos com 4 repetições; médias seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

<sup>2</sup> AF = área foliar; AR = área radicular; NR = número de raízes;

CR = comprimento máximo radicular; CF = comprimento máximo foliar;  
PR = peso de massa seca radicular; PA = peso de massa seca da parte aérea.

O coeficiente de menor valor (-0,0108), correspondente à equação do RR do CF (Fig. 2), diferiu ( $p \leq 0,05$ ) de todos os outros coeficientes, significando que essa foi a característica de menor sensibilidade. O maior

coeficiente (-0,0294), correspondente ao RR da AR, mostrou três contrastes significativos: com RR do CF, do PR e do PA. Todos os outros coeficientes contrastaram significativamente apenas com o RR do CF (Tabela 3). Os dados apontam que o RR do AR é indicador de maior sensibilidade do que os baseados em peso da massa seca de raízes e parte aérea, mas tem pouca diferença dos RR do CF e da AF.

Os resultados obtidos concordam com os de Mendonça (1991), que observaram ser o RR da AR mais sensível à toxidez de Al do que o RR do PR. Jan & Pettersson (1989) não incluíram área radicular como característica de comparação, mas observaram que o RR do PA foi melhor indicador que os RR do CR e do PR, portanto, em divergência parcial com os resultados obtidos neste trabalho. Área radicular não é uma característica medida freqüentemente em estudos sobre a matéria, em parte pelas dificuldades associadas a sua determinação (Rossiello et al., 1995). Em soja, Pan et al. (1989) mostraram que quando o sistema radicular é exposto por vários dias à toxidez das espécies iônicas de Al, estas afetam em maior grau a elongação de raízes laterais do que o eixo principal, o que pode implicar numa maior sensibilidade da AR total em relação à medição isolada do CR, mas tal comportamento não está demonstrado em arroz. Também não é simples explicar a alta sensibilidade do RR da AF, especialmente em virtude de o RR do CF ter resultado na característica mais insensível entre as estudadas pela regressão.

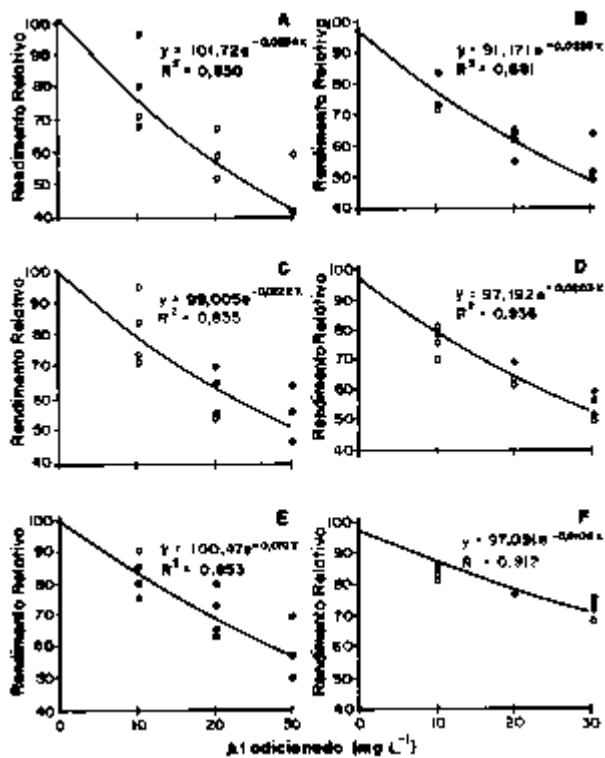


FIG. 2. Rendimento relativo (%) de seis características de plantas de arroz, em função do nível de Al adicionado à solução nutritiva. A: área radicular; B: área foliar; C: comprimento máximo radicular; D: peso de massa seca da parte aérea; E: peso de massa seca radicular; F: comprimento máximo foliar.

**TABELA 3. Valores t calculados ( $t_c$ ) e tabelados ( $t_i$ ) para comparação dos coeficientes angulares das equações de regressão entre lnRR e nível de Al em seis características estudadas de plantas de arroz.**

Característica <sup>1</sup>	C F		P R		P F		C R		A F		A R	
	$t_c$	$t_i$	$t_c$	$t_i$	$t_c$	$t_i$	$t_c$	$t_i$	$t_c$	$t_i$	$t_c$	$t_i$
AR	5,00*	2,13	2,51*	2,06	2,37*	2,10	1,61	2,04	1,55	2,05	—	—
AF	5,00*	2,10	1,23	2,02	0,96	2,05	0,17	2,00	—	—	—	—
CR	4,07*	2,11	0,94	2,04	0,63	2,07	—	—	—	—	—	—
PF	5,59*	2,05	0,52	1,96	—	—	—	—	—	—	—	—
PR	3,57*	2,09	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

<sup>1</sup> AF = área foliar; AR = área radicular; NR = número de raízes; CR = comprimento máximo radicular; CF = comprimento máximo foliar; PR = peso de massa seca radicular; PA = peso de massa seca da parte aérea.

\*Significativo a  $p \leq 0,05$ .

### CONCLUSÕES

1. O rendimento relativo da área radicular mostra-se como o indicador mais sensível à toxidez de Al, seguido da área foliar e do comprimento radicular.

2. Os rendimentos relativos do peso da massa seca de raízes e parte aérea são mediantemente sensíveis e o rendimento relativo do comprimento máximo foliar o de menor sensibilidade.

### AGRADECIMENTO

À Dra. Marlene Silva Freire, responsável pelo Banco de Germoplasma da Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), pela cessão das sementes empregadas no trabalho.

### REFERÊNCIAS

- BENNET, R.J.; BREEN, C.M. The aluminium signal: new dimensions to mechanisms of aluminium tolerance. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.134, p.153-166, 1991.
- FAGERIA, N.K. Tolerância diferencial de cultivares de arroz ao alumínio em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.1, p.1-9, jan. 1982.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; WRIGHT, R.J. Aluminum toxicity in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.11, p.303-319, 1988.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; WRIGHT, R.J. The effects of aluminum on growth and uptake of Al and P by rice. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.6, p.677-682, jun. 1989.
- FAGERIA, N.K.; ZIMMERMANN, F.J.P. Seleção de cultivares de arroz para tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.14, n.2, p.141-147, abr. 1979.
- FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C.; DEUBER, R.; NOGUEIRA, S.S.S.; HIROCE, R. Influência do alumínio no crescimento e na nutrição mineral de cultivares de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, p.203-208, 1982.
- FERNANDES, M.S.; ROSSIELLO, O.P.R. Mineral nitrogen in plant physiology and plant nutrition. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v.14, p.111-148, 1995.
- FERREIRA, R. de P.; CRUZ, C.D.; SEDIYAMA; C.S.; FAGERIA, N.K. Identificação de cultivares de arroz tolerantes à toxidez de alumínio por técnica multivariada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.6, p.789-795, 1995.
- FERREIRA, R. de P.; SALGADO, L.T.; JORGE, H.D. Tolerância de cultivares de arroz ao alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.21, n.12, p.1257-1260, dez. 1986.
- FREIRE, L.R.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; FERNANDES, M.S.; RIBEIRO, M.E.S.; SANTOS, J.C.P. dos. Efeito de alumínio nas raízes de arroz cultivado em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, n.5, p.459-464, maio 1987.
- FURLANI, A.M.C.; FURLANI, P.R. Composição e pH de soluções nutritivas para estudos fisiológicos e seleção de plantas em condições nutricionais adversas. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo**, Campinas, n.121, p.21-26, 1988.

- FURLANI, P.R.; HANNA, L.G. Avaliação de tolerância de plantas de arroz e milho ao alumínio em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.8, p.205-208, 1984.
- HOEL, P.G. **Introducción a la estadística matemática**. Barcelona: Ed. Ariel, 1968. 449p.
- HOWELER, R.H.; CADAVID, L.F. Screening of rice cultivars for tolerance to Al toxicity in nutrient solutions as compared with a field screening method. **Agronomy Journal**, Madison, v.68, p.551-555, 1976.
- JAN, F.; PETERSSON, S. Varietal diversity of upland rice in sensitivity to aluminium. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.12, n.9, p.973-993, 1989.
- KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminium toxicity and resistance in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.46, p.237-260, 1995.
- MENDONÇA, M. de L.S. **Estudo dos mecanismos de tolerância ao alumínio e sua variabilidade genotípica em arroz (*Oryza sativa* L.)**. Seropédica: UFRRJ, 1991. 176p. Tese de Mestrado.
- NETER, J.; WASSERMAN, W. **Applied linear statistical models**. Illinois: Richard D. Irwin Inc., 1974. 842p.
- PAN, W.L.; HOPKINS, A.G.; JACKSON, W.A. Aluminum inhibition of shoot lateral branches of *Glycine max* and reversal by exogenous cytokinin. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.120, p.1-9, 1989.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 11.ed. Piracicaba: USP-ESALQ, 1985. 466p.
- ROSSIELLO, R.O.P.; ARAÚJO, A.P.; MANZATTO, C.V.; FERNANDES, M.S. Comparação dos métodos fotoelétricos e da interseção na determinação de área, comprimento e raio médio radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.5, p.633--638, maio 1995.
- SIVAGURU, M.; JAMES, M.R.; AMBUDURAI, P.R.; BALAKUMAR, T. Characterization of differential aluminum tolerance among rice genotypes cultivated in South India. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.15, p.233-246, 1992.
- SIVAGURU, M.; PALIWAL, K. Differential aluminum tolerance in some tropical rice cultivars: I. Growth performance. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 16, p.1705-1716, 1993.