

CARACTERÍSTICAS INDICATIVAS DE SENSIBILIDADE AO ALUMÍNIO EM ARROZ.

II. CORRELAÇÃO CANÔNICA COM PRODUÇÃO¹

FABIANO MASCARENHAS PAULO VICENTE²,
ROBERTO OSCAR PEREYRA ROSSIELLO³ e MAURÍCIO BALLESTEIRO PEREIRA⁴

RESUMO - Como etapa no desenvolvimento de um método de seleção de genótipos de arroz (*Oryza sativa* L.) com tolerância diferencial ao Al, os dados de produção de 20 cultivares, obtidas em parcelas com baixa e alta saturação de Al, foram correlacionados com características dos mesmos genótipos obtidas em solução nutritiva. Pela técnica de correlações canônicas conseguiu-se obter duas combinações lineares, dentre as várias possíveis. Tais combinações retiveram a área radicular e o comprimento máximo foliar combinados com quatro níveis de Al (0, 10, 20 e 30 mg L⁻¹ Al), como primeira variável canônica. A segunda variável canônica considerou a diferença ponderada entre as produções com baixo e alto Al, ou a diferença não ponderada, com valores de r de 0,93 e 0,91, respectivamente. Os resultados sugerem a possibilidade de calibrar características vegetativas obtidas em laboratório, sob ambiente controlado, com informação de campo, reduzindo a incerteza na escolha de indicadores mais apropriados.

Termo para indexação: *Oryza sativa*, área radicular, área foliar, comprimento máximo das raízes, comprimento máximo das folhas.

INDICATIVE TRAITS OF ALUMINIUM SENSIBILITY IN RICE.

II. CANONICAL CORRELATION WITH YIELD

ABSTRACT - As a step in the development of a method to access differential Al tolerance, data from grain yield of 20 rice genotypes growing in high and low Al saturation plots, were correlated with morphological characters of the same genotypes grown in nutrient solution. By the canonical correlation it was possible to obtain two linear combinations, among several possibilities. These combinations retained the root area and the maximal leaf length, combined with four Al levels (0, 10, 20 and 30 mg L⁻¹ Al) as the first canonical variable. The second canonical variable considered the weighted difference between grain yield at low and high Al saturation level or the unweighted difference, with r 0.93 and 0.91, respectively. The results showed the possibility to correlate morphological traits, measured in nutrient solution, against field data, reducing uncertainty in choosing the most suitable indicator.

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

INTRODUÇÃO

Aproximadamente um terço dos solos dos trópicos possuem acidez suficiente para tornar o alumínio (Al) tóxico ao crescimento vegetal (Sanchez &

Longan, 1992), ao menos em espécies não adaptadas ecologicamente. No Brasil, esta proporção aumenta, estimando-se que 50% dos solos possuam elevada saturação em Al, considerando-se a camada subsuperficial (Olmos & Camargo, 1976). Esta situação faz com que o uso de genótipos tolerantes seja fator importante à viabilidade de produção de alimentos em tais solos.

As técnicas de avaliação de genótipos têm sido desenvolvidas em três ambientes: a) em condições de campo; b) em casa de vegetação, sob condições semicontroladas e c) em laboratório, com o uso de soluções nutritivas em condições ambientais pro-

¹ Aceito para publicação em 17 de março de 1997.

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

³ Eng. Agr., Dr., Prof. Adjunto, Dep. de Solos, UFRRJ. Bolsista do CNPq.

⁴ Eng. Agr., Dr., Prof. Adjunto, Dep. de Genética, UFRRJ.

gramadas (Duncan & Baligar, 1990). Pode ser possível, em futuro próximo, modificar a tolerância das plantas à toxidez de Al usando técnicas de biologia molecular (Wheeler et al., 1992), mas, no presente, a maior parte dos trabalhos de avaliação tem sido feita pelas três primeiras aproximações.

Enquanto a seleção de genótipos em ambientes artificiais não leva em consideração as reais pressões do meio (Duncan & Baligar, 1990), a seleção em ensaios de campo reúne grande número de variáveis não controladas, tais como tolerâncias diferenciais a estresses climáticos, bióticos ou nutricionais (Wright, 1989).

No caso de gramíneas cultivadas, trabalhos mostram correlações significativas entre parâmetros coletados em testes de campo e em ambientes artificiais, com solo ou solução nutritiva (Reid et al., 1971; Howeler & Cadavid, 1976; Lafever et al., 1977; Bilinski & Foy, 1987). Entretanto, genótipos classificados como tolerantes em ensaio de campo podem fracassar em solução nutritiva, e vice-versa (Devine et al., 1976).

Possível abordagem que concilie esta situação é o contraste entre produções obtidas no campo, e características vegetativas coletadas independentemente, em condições de maior controle ambiental, na fase inicial de desenvolvimento do sistema radicular, onde o Al exerce a maior parcela de sua fitotoxidez.

Neste trabalho, são apresentados dois modelos lineares que relacionam diferenças de produtividade determinadas em uma série de genótipos de arroz avaliados em parcelas com alto e baixo nível de saturação de Al (Ferreira et al., 1986), e características vegetativas obtidas com os mesmos genótipos em solução nutritiva. A pertinência das características incluídas foi discutida em trabalho complementar (Vicente et al., 1998).

O objetivo desta pesquisa foi desenvolver um método que permita efetuar, de forma confiável, uma seleção rápida de genótipos tolerantes ao Al, associada à estimativa de seu potencial de produção em condições de cultivo sob estresse de Al.

MATERIALE MÉTODOS

Foram estudadas as correlações canônicas entre valores de produção em campo, com baixo e alto nível de Al

(Tabela 1), e características vegetativas coletadas em câmara de crescimento (Vicente et al., 1998), em plantas com 41 dias, de 20 genótipos de arroz de sequeiro, cultivados em solução nutritiva sob quatro níveis de Al (0, 10, 20 e 30 mg L⁻¹).

Os dados de campo foram selecionados do trabalho de Ferreira et al. (1986), que determinaram as produções de 30 genótipos de arroz de sequeiro, em experimento conduzido em Porto Velho (RO), num Latossolo Vermelho-Amarelo, em dois níveis de saturação de Al (77% e 18%), obtidos a partir da aplicação de calcário dolomítico (0 e 6 t ha⁻¹).

Para o estudo das correlações canônicas, foram testadas diversas combinações lineares, partindo das mais simples para as mais complexas (Tabelas 2 e 3). Entende-se por combinação linear, no presente trabalho, o conjunto formado pelas características vegetativas, juntamente com os parâmetros de produção e seus respectivos coeficientes (Mardia et al., 1979).

As análises estatísticas e a construção das combinações lineares foram realizadas com o uso do programa SAEG (Fundação A. Bernardes, UFV).

TABELA 1. Genótipos de arroz trabalhados e suas produtividades em parcelas com e sem calagem (Ferreira et al., 1986).

Genótipos	Prod. baixo Al ¹ (kg/ha)	Prod. alto Al ² (kg/ha)	Diferença (kg/ha)
1. CNA 4135	2.525	2.292	233
2. CNA 4123	3.188	3.016	172
3. GA 4193	2.309	547	1.762
4. GA 4883	2.564	1.160	1.404
5. Labelle	2.588	2.237	351
6. BR 1	3.750	2.670	1.080
7. IAC 164	3.788	2.792	996
8. Lebonnet	3.589	3.233	356
9. CNA 4115	3.741	3.203	538
10. GA 4141	4.110	3.076	1.034
11. GA 4098	4.117	3.436	681
12. GA 4172	4.383	3.472	911
13. GA 4160	3.437	3.125	312
14. CNA 4119	2.519	3.521	-1.002
15. CNA 4235	2.906	3.283	-377
16. IRAT 112	3.368	3.316	52
17. IAC 114	3.517	3.468	49
18. CNA 4120	3.559	3.302	257
19. Lageado	3.616	3.501	115
20. CNA 4146	3.875	4.125	-250

¹ Nível de saturação de Al de 18%.

² Nível de saturação de Al de 77%.

TABELA 2. Variáveis canônicas do grupo 1 testadas contra a segunda variável canônica (grupo 2, P. baixo Al, P. alto Al e Dif), mantida fixa, seus coeficientes de correlação, e níveis de significância com relação aos 20 genótipos de arroz de sequeiro.

Grupo 1	Correlação	Significância
AF (1,2,3,4)	0,626	0,543
AR (1,2,3,4)	0,712	0,409
NR (1,2,3,4)	0,512	0,837
CR (1,2,3,4)	0,395	0,986
CF (1,2,3,4)	0,699	0,542
PR (1,2,3,4)	0,459	0,948
PA (1,2,3,4)	0,531	0,932
PT (1,2,3,4)	0,442	0,961
AF, AR, CF (1,2,3,4)	0,951	0,453
AF, CR (1,2,3,4)	0,851	0,502
AF;CF (1,2,3,4)	0,715	0,933
AR;CF (1,2,3,4)	0,925	0,133
AR;CF (1,2,3)	0,870	0,061
AR;CF (1,2,4)	0,925	0,030
AR;CF (1,3,4)	0,801	0,373
AR;CF (2,3,4)	0,764	0,437
AR;CF (1,2)	0,837	0,050
AR;CF (1,3)	0,577	0,723
AR;CF (1,4)	0,742	0,217
AR;CF (2,3)	0,686	0,656
AR;CF (2,4)	0,735	0,182
AR;CF (3,4)	0,559	0,916
AR;CF (1)	0,342	0,888
AR;CF (2)	0,469	0,593
AR;CF (3)	0,230	0,976
AR;CF (4)	0,538	0,409

Códigos e abreviações

A fim de facilitar a apresentação de tabelas e combinações lineares, foram utilizados códigos e abreviações na apresentação dos resultados. Os 20 genótipos aparecem nas tabelas como algarismos arábicos, de acordo com a Tabela 1. As características mensuradas, com suas respectivas abreviações e unidades, são: área foliar (AF, m² x 10⁻⁴); área radicular (AR, m² x 10⁻⁴); comprimento máximo das raízes (CR, m x 10⁻²); comprimento máximo das folhas (CF, m x 10⁻²); número de raízes seminais (NR); peso da massa seca das raízes (PR, mg); peso da parte aérea (PA, mg) e total (PT, mg).

Os parâmetros de produção aparecem em kg ha⁻¹, com as seguintes denotações: P alto Al, produção do genótipo em alta saturação de Al; P baixo Al, produção do genótipo

TABELA 3. Variáveis canônicas do grupo 2, testadas contra a primeira variável canônica (grupo 1, AR;CF (1,2,4)), mantida fixa, seus coeficientes de correlação e níveis de significância, com relação aos 20 genótipos de arroz de sequeiro.

Grupo 2	Correlação	Significância
P. baixo Al, P. alto Al, Dif.	0,925	0,030
<u>P. baixo Al, P. alto Al</u>	<u>0,925</u>	<u>0,000</u>
P. alto Al	0,821	0,006
P. baixo Al	0,534	0,503
<u>Dif.</u>	<u>0,911</u>	<u>0,000</u>

em baixa saturação de Al; e Dif, diferença entre as produções.

As concentrações de Al (mg L⁻¹) aparecem nas combinações lineares seguindo o código: zero -1; 2 - 10; 3 - 20, e 4 - 30. Assim, as abreviações das características vegetativas nas combinações lineares aparecem seguidas de algarismos arábicos, indicadores das concentrações de Al, o que mostra que tais parâmetros são referentes àquelas concentrações. Por exemplo: AF (1, 2, 3, 4) significa as áreas foliares correspondentes às concentrações 0, 10, 20 e 30 mg L⁻¹ de Al.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As combinações lineares testadas pela variação de características vegetativas nas diferentes concentrações de Al (grupo 1, primeira variável canônica), mantendo fixo o conjunto formado pelos parâmetros de produção e sua diferença (P. baixo Al, P. alto Al e Dif., grupo 2, segunda variável canônica), são apresentados na Tabela 2. Nem todas as combinações possíveis foram retidas, mas algumas generalizações são possíveis. Quando as combinações do grupo 1 foram constituídas pelas características isoladas e pelos quatro níveis de Al (as primeiras oito combinações na Tabela 2), obtiveram-se coeficientes de correlação oscilando entre 0,395 (CR) e 0,699 (CF), todos associados a níveis não-significativos (valores de p > 0,4 em todos os casos). Parece plausível concluir que exista uma baixa probabilidade de correlação entre um parâmetro morfológico isolado, medido em condições de solução nutritiva, e um 'ranking' de tolerância ao Al baseado em produção de grãos em condições de campo.

Por outro lado, como discutido por Vicente et al. (1998), as características vegetativas mostraram gradação na sua sensibilidade ao Al. As características de maior sensibilidade neste estudo foram as áreas foliar (AF) e radicular (AR) dos genótipos testados. Destas duas características, apenas a segunda manteve a sua utilidade como variável independente significativa, quando associada ao comprimento máximo das folhas (CF), que foi, como característica isolada, a de menor sensibilidade (Vicente et al., 1998).

Uma combinação interessante, pela sua simplicidade, é AR, CF (1, 2), com $r = 0,837$, significativa a 0,05 (Tabela 2). Esta combinação, contudo, inclui apenas os níveis de Al correspondentes a 0 e 10 mg L⁻¹. Esta faixa de concentração parece demasiado estreita, uma vez que ao valor de 10 mg L⁻¹ Al, alguns genótipos mostram promoção de uma ou mais características (Tabela 4), evidenciando um efeito estimulatório de Al, que não guarda relação necessária com a sua classificação para tolerância em condições de campo. Parece, portanto, essencial a inclusão do nível zero Al e de uma faixa

de concentração entre 20 e 30 mg L⁻¹. No presente caso, a combinação AR, CF (1, 2, 3) tem um desempenho razoável ($r = 0,87$; $p = 0,061$), mas a consideração do nível 4 (Tabela 2) maximiza sua correlação e significância. Portanto, esta combinação foi escolhida como representante do grupo 1.

O passo seguinte foi a procura da simplificação estrutural da segunda variável canônica, considerando-se toda a informação (P. baixo Al, P. alto Al, Dif., como na Tabela 2) ou só parte dela. Das cinco alternativas testadas, duas foram selecionadas: P. baixo Al, P. alto Al e Dif. sublinhadas (Tabela 3). Então, por correlação canônica entre a melhor combinação do grupo 1, com as duas melhores do grupo 2, é possível obter duas novas combinações, que aparecem com seus respectivos coeficientes canônicos nas expressões a seguir:

Combinação 1:

- 0,353 A R (1) + 0,553 A R (2) + 0,138 A R (4) +
+ 0,910 C F (1) - 0,696 C F (2) - 0,452 C F (4)
CORR COM - 0,491 P. baixo Al + 0,871 P. alto Al
($r = 0,93$; signif. < 0,001).

TABELA 4. Valores de área radicular (AR, m² x 10⁻⁴) e comprimento máximo foliar (CF, m x 10⁻²) de 20 genótipos de arroz de sequeiro, cultivados em solução nutritiva em três níveis de Al (1: 0, 2: 10 e 4: 30 mg L⁻¹ Al)¹.

Genótipo	AR (1)	AR (2)	AR (4)	CF (1)	CF (2)	CF (4)
1. CNA4135	16,30a	12,59bc	8,16a	41,33a	36,58abc	31,78a
2. CNA4123	10,71abc	8,21bcde	2,33bc	33,00a	26,90def	17,80bc
3. GA4193	10,84abc	8,45bcde	4,27abc	36,87a	38,37a	33,00a
4. GA4883	8,32abc	4,11e	4,99abc	31,62a	26,80def	27,58ab
5. Labelle	8,98abc	4,69de	2,67bc	30,82a	21,12f	21,45abc
6. BR1	6,89bc	6,46cde	3,44abc	34,33a	29,37abcdef	28,83ab
7. IAC164	6,20c	9,81bcd	5,28abc	32,65a	33,37abcd	29,30abc
8. Lebonnet	8,38abc	4,98de	2,32bc	31,42a	25,00def	15,20c
9. CNA4115	5,70c	6,97cde	6,43abc	32,88a	30,55abcdef	28,05ab
10. GA4141	12,02abc	10,40bcde	6,43abc	32,75a	27,55bcdef	25,90abc
11. GA4098	15,85ab	13,23b	8,15a	35,60a	29,12abcdef	30,80a
12. GA4172	11,19abc	8,50bcde	8,01a	33,63a	26,60cdef	27,50ab
13. GA4160	8,57abc	9,01bcde	6,45abc	38,08a	32,47abcde	28,08ab
14. CNA4119	11,23abc	19,91a	5,87abc	37,38a	34,42abcd	27,47ab
15. CNA4235	12,75abc	8,31bcde	4,32abc	32,33a	22,25ef	21,58abc
16. IRAT112	15,62ab	12,32bc	6,80ab	36,50a	32,08abcde	27,95ab
17. IAC114	8,22abc	7,21bcde	3,63abc	35,13a	27,30abcd	26,50abc
18. CNA4120	12,71abc	8,80bcde	6,87ab	37,83a	32,50abcde	28,05ab
19. Lageado	10,66abc	6,17de	1,81c	44,40a	41,00a	23,90abc
20. CNA4146	10,18abc	7,81cde	5,12abc	39,92a	32,62abcd	25,35abc

¹ Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Combinação 2:

0,441 A R (1) - 0,896 A R (2) - 0,003 A R (4) -
- 1,317 C F (1) + 1,049 C F (2) + 0,564 C F (4)
CORR COM Dif. ($r=0,91$; signif. < 0,001).

Ao se substituir, nas combinações, as características AR e CF pelos seus respectivos valores (Tabela 4), pode-se estabelecer um 'ranking' entre genótipos, cujos valores numéricos são mostrados na Tabela 5. Nessa mesma tabela estão indicadas as diferenças de produção em parcelas com alta e baixa saturação de Al (Ferreira et al., 1986), que é a segunda variável canônica na combinação 2.

Na Fig. 1, é mostrada a representação gráfica da combinação 2, em coordenadas cartesianas, onde se pode observar que do conjunto dos genótipos tolerantes testados (responsivos ou não ao calcário), com uma exceção (genótipo 9: CNA 4115), todos caem nos dois quadrantes da esquerda (III e IV). No

quadrante III, aparecem isolados os três genótipos mais resistentes ao Al (genótipo 14: CNA 4119; 15: CNA 4235 e 20: CNA 4146), avaliados por Ferreira et al. (1986). Da mesma forma, no quadrante I, ocorrem os três mais sensíveis, destacando-se no canto superior direito o genótipo GA 4193.

É claro que as combinações apresentadas são fixas, e portanto, válidas somente para as condições nas quais foram desenvolvidas e para os genótipos trabalhados. O método utilizado, entretanto, mostra a validade de se calibrar características vegetativas obtidas em solução nutritiva em ambiente semicontrolado, com informações de campo, reduzindo a incerteza na escolha dos indicadores mais apropriados. Em outra direção, os resultados parecem bastante promissores para a construção de índices de seleção baseados em análise multivariada, de forma similar a análise apresentada recentemente por Ferreira et al. (1995).

TABELA 5. Valores das combinações lineares, testadas por correlação canônica, em relação aos 20 genótipos de arroz de sequeiro e as diferenças de produção (Dif), observadas em parcelas com baixa e alta saturação de Al (Ferreira et al., 1986).

Genótipo	X ₁ ¹	X ₂ ¹	Dif	Tolerância ²
1. CNA4135	0,070	-2,180	0,233	SNR
2. CNA4123	4,343	-7,844	0,172	SNR
3. GA4193	-6,628	7,493	1,762	SR
4. GA4883	-2,302	1,978	1,404	SR
5. Labelle	3,416	-6,554	0,351	SR
6. BR1	-0,652	-0,849	1,080	SR
7. IAC164	-2,768	2,424	0,996	SR
8. Lebonnet	4,420	-7,329	0,356	TR
9. CNA4115	-1,330	0,868	0,538	TR
10. GA4141	1,327	-3,674	1,034	TR
11. GA4098	1,067	-3,877	0,681	TR
12. GA4172	1,488	-3,543	0,911	TR
13. GA4160	2,197	-4,550	0,312	TNR
14. CNA4119	5,518	-10,565	-1,002	TNR
15. CNA4235	4,800	-8,800	-0,377	TNR
16. IRAT112	0,455	-2,776	0,052	TNR
17. IAC114	2,549	-5,489	0,049	TNR
18. CNA4120	0,405	-2,142	0,257	TNR
19. Lageado	0,919	-2,753	0,115	TNR
20. CNA4146	3,571	-6,549	-0,250	TNR

¹ X₁ e X₂: grupo 1 das combinações lineares 1 e 2, respectivamente.

² SNR: sensível (ao Al) não-responsiva (ao calcário); SR: sensível responsiva; TR: tolerante responsiva; TNR: tolerante não-responsiva (Ferreira et al., 1986).

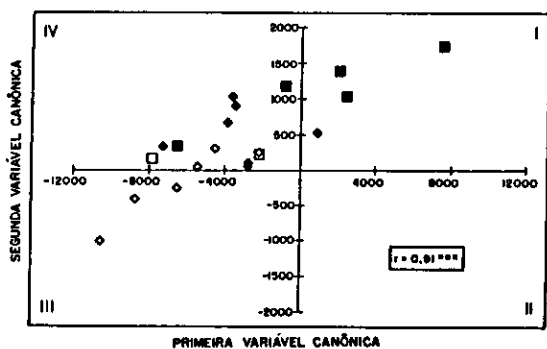


FIG.1. Relação entre a primeira variável canônica (AR, CF, 1, 3, 4) e a segunda variável canônica (diferença de produção, Dif.), combinação 2, para os 20 genótipos estudados. □: SNR, sensível não-responsiva (genótipos: 1 e 2); ■: SR, sensível responsiva (3, 4, 5, 6 e 7); ◆: TR, tolerante responsiva (8, 9, 10, 11 e 12) e ◇: TNR, tolerante não-responsiva (13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20) (Ferreira et al., 1986).

CONCLUSÕES

1. A técnica de correlações canônicas se mostra eficiente para a obtenção de combinações lineares capazes de relacionar características vegetativas medidas em solução nutritiva, e produtividades em campo, fornecendo, assim, combinações estruturalmente simples, de elevada correlação e significância.

2. A área radicular e o comprimento máximo das folhas são as características que, conjuntamente, melhor refletem o efeito da toxidez de Al na produção dos genótipos estudados.

AGRADECIMENTO

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

REFERÊNCIAS

- BILINSKI, J.J.; FOY, C.D. Differential tolerances of oat cultivars to aluminum in nutrient solutions and in acid soils of plant. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.10, p.129-141, 1987.
- DEVINE, T.E.; FOY, C.D.; FLEMING, A.L. Development of alfalfa strains with differential tolerance to aluminum toxicity. *Plant and Soil*, The Hague, v.44, p.73-79, 1976.
- DUNCAN, R.R.; BALIGAR, V.C. Genetics, breeding, and physiological mechanisms of nutrient uptake and use efficiency: an overview. In: BALIGAR, V.C.; DUNCAN, R.R. (Eds.). *Crops as enhancers of nutrient use*. San Diego: Academic Press, 1990. p.3-35.
- 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, 1986.
- 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.
- LAFEVER, H.N.; CAMPBELL, L.G.; FOY, C.D. Differential response of wheat cultivars to Al. *Agronomy Journal*, Madison, v.69, p.563-568, 1977.
- MARDIA, K.V.; KENT, J.T.; BIBBY, J.M. *Multivariate analysis: canonical correlations analysis*. New York: Academic Press, 1979. 521p.
- OLMOS, J.J.L.; CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v.21, p.171-180, 1976.
- REID, D.A.; FLEMING, A.L.; FOY, C.D. A method for determining response of barley in nutrient solution in comparison to response in Al-toxic soil. *Agronomy Journal*, Madison, v.63, p.600-603, 1971.
- SANCHEZ, P.A.; LONGAN, M. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In: SANCHEZ, P.A.; LAL, R. (Eds.). *Myths and science of soils of the tropics*. Madison: Soil Science Society of America, 1992. p.35-46.
- VICENTE, F.M.P.; ROSSIELLO, R.O.P.; PEREIRA, M.B. Características indicativas de sensibilidade ao alumínio em arroz. I. Crescimento em solução nutritiva. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.33, n.1, p.9-15, jan. 1998.
- WHEELER, D.M.; EDMEADS, D.C.; CHRISTINE, R.A.; GARDNER, R. Comparison of techniques for determining the effect of aluminium on the growth of, and the inheritance of aluminium tolerance in wheat. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.146, p.1-8, 1992.
- WRIGHT, R.J. Soil aluminum toxicity and plant growth. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.20, p.1479-1497, 1989.