

AValiação de Linhagens, Materiais Comerciais e Duas Populações de Milho para Tolerância a Alumínio¹

PEDRO R. FURLANI², MARLENE LIMA³, LUIS T. DE MIRANDA⁴, LUIS E.C. DE MIRANDA², EDUARDO SAWASAKI⁵ e RICARDO MAGNAVACA⁶

RESUMO - Avaliação da tolerância a Al (4,5 mg/l) de 39 linhagens, 98 materiais comerciais, 167 progênies de uma população IAC-Maya e de 466 progênies de uma população IAC-Taiuba de milho (*Zea mays* L.), usando-se a técnica de solução nutritiva. Foram utilizados os seguintes índices: ICR (índice de crescimento da radícula), determinado através da multiplicação dos índices CRR (comprimento relativo da radícula) e CRRSML (comprimento relativo da raiz secundária mais longa), e CLR (comprimento líquido da radícula) calculado pela diferença entre os valores de CR (comprimento da radícula) obtidos no início e fim do período de crescimento das plantas em presença de alumínio. Os índices CRR e CRRSML foram derivados da relação obtida entre os valores obtidos na presença e ausência de Al. As linhagens e as progênies da população IAC-Maya foram avaliadas através do ICR, enquanto os demais o foram pelo índice CLR. Os materiais controles foram IAC HS1227 (tolerante a Al) e IAC HS7777 (sensível a Al). O método de solução nutritiva foi eficiente na diferenciação da tolerância a Al dentre os materiais testados, evidenciando a ocorrência de ampla variabilidade genética para essa característica. As seguintes linhagens e materiais comerciais apresentaram tolerância ao Al (4,5 mg/l): Porto Rico 70.D.2, Ip 48-5-3, Ip 365-4-1, IA 2992-3-1-2-3, Viç 3-2-3-30-V-6, 490, 519, 532, 535-2 e 820 (linhagens) e AG 82, AG 260, AGROMEM 1022, ASGROW 1255, DINA 03 S, DINA 47, IAC Hmd 7974, SS 1243 e UNICAMP 720 (materiais comerciais).

Termos para indexação: *Zea mays*, crescimento da raiz, solução nutritiva, variabilidade genética.

EVALUATION OF INBRED LINES, COMMERCIAL MATERIALS, AND TWO MAIZE POPULATIONS FOR ALUMINUM TOLERANCE

ABSTRACT - The evaluation of 39 inbred lines, 98 commercial materials, 167 progenies from an IAC-Maya population, and 466 progenies from an IAC-Taiuba population of maize (*Zea mays* L.) for Al tolerance in nutrient solutions was carried out. The following root characteristics were used: GRI (growth radicle index), determined by multiplying RRL (relative radicle length) and RLLSR (relative length of the longest secondary root), and NRL (net radicle length) estimated by the difference between the measurements of RL (radicle length) obtained at the beginning and at the end of the growth period in Al-stressed nutrient solutions. Both indices RRL and RLLSR were determined by dividing the values obtained in solutions with and no added Al. The characteristic GRI was used to evaluate the inbred lines and the IAC-Maya populations, while NRL was used for the commercial materials. The control materials were IAC HS 1227 (Al tolerant) and IAC HS 7777 (Al susceptible). The nutrient solution technique was efficient to differentiate Al tolerance among the maize genotypes tested. A wide genetic variability was found regarding the Al tolerance trait among the maize genotypes tested. The following maize inbred lines and commercial materials were tolerant to Al (4.5 mg/l): Porto Rico 70.D.2, Ip 48-5-3, Ip 365-4-1, IA 2992-3-1-2-3, Viç 3-2-3-30-V-6, 490, 519, 532, 535-2, and 820 (inbred lines) and AG 82, AG 260, AGROMEM 1022, ASGROW 1255, DINA 03 S, DINA 47, IAC Hmd 7974, SS 1243, and UNICAMP 720 (commercial materials).

Index terms: *Zea mays*, root growth, nutrient solution, genetic variability.

INTRODUÇÃO

A identificação de materiais genéticos de milho tolerantes ao alumínio assume grande importância nos programas de melhoramento dessa cultura visando sua adaptação a solos com elevada acidez e com problemas de excesso de Al. Nos solos com subsolos ácidos, o problema é agravado pelos efeitos negativos do Al no crescimento do sistema radicular de plantas sensíveis, o que acarreta reduzida exploração, pelas raízes, de água e nutrientes

Pesq. agropec. bras., Brasília, 21(6):655-660, jun. 1986.

¹ Aceito para publicação em 8 de janeiro de 1986. Trabalho apresentado no XV Congresso Nacional de Milho e Sorgo, em Maceió, AL, 2-6 de julho de 1984.

² Eng. - Agr., Ph.D., Inst. Agrônomo de Campinas (IAC), Caixa Postal 28, CEP 13100 Campinas, SP. Bolsista do CNPq.

³ Enga. - Agr., Dra., IAC. Bolsista do CNPq.

⁴ Eng. - Agr., Dr. IAC.

⁵ Eng. - Agr., M.Sc., IAC, Bolsista do CNPq.

⁶ Eng. - Agr., Ph.D., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), Caixa Postal 151, CEP 35700 Sete Lagoas, MG.

(Foy 1983, Ritchey et al. 1983). A utilização de corretivos da acidez do solo nem sempre é uma técnica viável sob o ponto de vista prático e econômico, principalmente levando-se em conta os custos crescentes dos processos de obtenção, transporte e aplicação desse insumo. Entretanto, a combinação da prática de calagem superficial (0 cm - 20 cm) com o plantio de cultivares tolerantes ao Al aparenta ser a alternativa mais viável economicamente (Magnavaca 1982).

A existência de variabilidade genética para a tolerância ao Al foi descrita para inúmeras espécies vegetais (Foy et al. 1978, Lafever 1981, Foy 1983), inclusive para o milho, tanto em solução nutritiva (Clark & Brown 1974, Rhue & Grogan 1977, Garcia Junior et al. 1979, Magnavaca 1982) como em solo com elevada acidez (Bahia Filho et al. 1978, 1979).

O presente trabalho teve por objetivo conhecer a variabilidade genética existente entre linhagens experimentais, materiais comerciais e duas populações de milho para tolerância ao alumínio em solução nutritiva.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos envolvendo a avaliação de 39 linhagens, 98 materiais comerciais, 167 progênies S_1 de uma população IAC-Maya e de 466 progênies de uma população IAC-Taiuba foram conduzidos em condições não controladas de casa de vegetação (temperatura máxima diurna = $32 \pm 4^\circ\text{C}$, temperatura mínima média = $18 \pm 3^\circ\text{C}$). Para a avaliação dos citados materiais, adotou-se um procedimento semelhante ao descrito por Magnavaca (1982) e Furlani & Hanna (1984). Para estimar o grau de tolerância dos materiais de milho a alumínio (4,5 mg/l) em solução nutritiva, foram determinados ou calculados os seguintes índices: a) comprimento da radícula (CR); b) comprimento relativo da radícula (CRR) ($\text{CRR} = \text{CR}_{+\text{Al}}/\text{CR}_{-\text{Al}}$); c) comprimento da raiz secundária mais longa (CRSML); d) comprimento relativo da raiz secundária mais longa (CRRSML) ($\text{CRRSML} = \text{CRSML}_{+\text{Al}}/\text{CRSML}_{-\text{Al}}$); e) índice de crescimento da radícula (ICR) ($\text{ICR} = \text{CRR} \times \text{CRRSML}$); f) crescimento líquido da radícula (CLR), obtido pela diferença entre os valores de CR avaliados no início e fim do período de crescimento das plantas em solução nutritiva contendo 4,5 mg de Al/l.

Os ensaios foram conduzidos segundo o delineamento de parcelas subdivididas com duas repetições. As parcelas eram constituídas por concentrações de Al (0 e/ou 4,5 mg de Al/l), e as subparcelas, por materiais de milho em estu-

do. Cada parcela continha, além dos materiais em estudo, dois controles IAC HS1227 (tolerante ao Al) e IAC HS7777 (sensível ao Al). O número de plantas por material e por parcela variou de seis a nove.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Linhagens

Baseando-se nos valores de ICR obtidos para as 39 linhagens avaliadas, os materiais que apresentaram reduções inferiores a 35% no crescimento da raiz foram consideradas tolerantes ao Al em solução nutritiva. São os seguintes: Porto Rico 70.D.2, Ip 48-5-3, Ip 365-4-1, IA 2992-3-1-2-3, Viç. 3-2-3-30-V-6, 490, 519, 532, 535-2 e 820 (Tabela 1). Observa-se que as duas linhagens que dão origem ao IAC HS7777 (sensível ao Al) também apresentaram reduções drásticas no crescimento de suas raízes, ao contrário do ocorrido com as duas linhagens componentes do IAC HS1227 (tolerante ao Al). As linhagens SLP 103-3-2 e Ip 701-1-1 compõem o HS 7777, e as linhagens Ip 365-4-1 e Ip 48-5-3 compõem o HS 1227. Isto indica que o comportamento diferencial dos híbridos simples IAC 1227 e IAC 7777 parece estar diretamente associado ao comportamento de seus progenitores.

Materiais comerciais

Os resultados obtidos demonstram a existência de variabilidade de comportamento entre os materiais procedentes de diversas firmas produtoras de sementes, assim como entre os materiais de uma mesma sigla (Tabela 2). Baseando-se nos valores de CLR (crescimento líquido da radícula) apresentados pelos materiais testados e nos valores de CLR do material tolerante IAC HS1227, observa-se que as seguintes cultivares mostraram-se menos afetadas pelo Al: AG 82, AG 260, AGROMEM 1022, ASGROW 1255, DINA 03S, DINA 47, IAC Hmd 7974, SS 1243 e UNICAMP 720. Porém, nenhum desses materiais apresentou comportamento superior ao da cultivar IAC HS 1227. A cultivar IAC Hmd 7974 é originária dos híbridos simples IAC 1227 e IAC 7777; deve, portanto, ter carregado consigo a característica de tolerância ao Al, de um de seus pais (IAC HS1227). Estudos envolvendo a herança da tolerância de milho ao Al foram feitos por vários autores; existem, entretan-

to, resultados conflitantes na literatura (Rhue et al. 1978, Garcia Junior 1979, Magnavaca 1982, Silva 1983).

Ainda na Tabela 2, verifica-se que alguns materiais apresentaram valores elevados de variação entre observações (plantas), provavelmente indicando segregação para crescimento da raiz em presença de Al e/ou problemas de contaminação por sementes do receptor de pólen usado na produção de híbridos.

Populações

Os resultados referentes à distribuição das progênies S₁ das populações IAC-Maya e IAC-Taiuba, em função de classes de valores de ICR (IAC-Maya) e CLR (IAC-Taiuba), encontram-se nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. Observa-se que um número relativamente pequeno de progênies teve comportamento semelhante ao do controle tolerante ao Al (IAC HS1227). A população IAC-Maya avaliada apresentou um valor médio do índice de

crescimento da raiz (ICR) de 0,110 com um desvio de 0,076. Considerando-se o valor médio de ICR da cultivar tolerante HS1227 (0,462 ± 0,130), conclui-se que apenas uma progênie S₁ da população IAC-Maya apresentou relativa tolerância ao Al. Entretanto, verificou-se que plantas individuais de algumas das progênies avaliadas apresentaram-se desprovidas dos sintomas típicos da toxicidade de Al nas raízes (encurtamento e engrossamento da radícula e ausência de ramificações secundárias finas).

Os valores do crescimento líquido da radícula (CLR) avaliados em plantas de 466 progênies S₁ da população IAC-Taiuba mostraram um quadro semelhante ao apresentado pela população IAC-Maya. Um pequeno número de progênies teve um padrão de comportamento semelhante ao controle tolerante IAC 1227. O valor médio do CLR para a população IAC-Taiuba estudada foi de 7,1 ± 2,6, considerado baixo em comparação ao de 17,6 ± 1,3, apresentado pelo controle tolerante.

TABELA 1. Índice de crescimento da raiz seminal (ICR) de plantas de 39 linhagens de milho, crescidas em solução nutritiva contendo 4,5 mg de Al/l. Média de duas repetições. Campinas, 1983/84.

Linhagem	ICR	Linhagem	ICR
Grupo 1			
Porto Rico 70.D.2	0,73	641.2	0,39
SLP 103-3-2	0,03	745	0,42
lp 701-1-1	0,07	820	0,71
lp 48-5-3	0,86	10-8-2-1	0,21
lp 365-4-1	0,73	10-11-1-1	0,12
lp 837-1-1-1	0,03	10-13-1-1	0,10
lp 321	0,35	10-19-1-1	0,23
lp 421-2-1-1	0,04	10-20-3-1	0,11
Pm 624-2-1	0,49	10-36-1	0,12
IA 2876-3-1-2-3	0,37	10-40-1	0,14
IA 2992-1-1-2-3	0,97	10-40-1	0,11
Viç. 3-2-3-30-V-6	1,51	11-01-3-1	0,23
T8xAsteca 10-10-12-12	0,03	11-19-3-3	0,19
V. 2017 Cuban dent	0,03	11-21-1-1	0,23
490	0,99	11-22-2-3	0,11
519	0,69	11-23-3-1	0,36
531	0,09	11-24-1-1	0,15
532	1,48	11-30-1-1	0,03
535.2	1,59	124-3-15-1	0,32
Controle IACHS7777	0,11	732-4	0,05
Controle IACHS1227	0,70	Controle IACHS7777	0,08
DMS (Tukey 0,05)	0,32	Controle IACHS1227	0,69
		DMS (Tukey 0,05)	0,29

TABELA 2. Crescimento líquido da radícula (CLR) de plantas de 98 cultivares de milho, crescidas em solução nutritiva contendo 4,5 mg de Al/l. Média de seis observações por cultivar. Campinas, 1983/84.

Identificação	CLR	
	Média ± Desvio	
AG 28 A	8,2	3,8
AG 28	5,2	1,6
AG 82	13,2	4,1
AG 83	8,4	3,6
AG 162	7,1	4,4
AG 163	4,8	1,3
AG 260	15,3	5,1
AG 352	8,7	2,0
AG 401	7,6	3,9
AG 403	11,0	10,2
AG 405	6,8	1,3
AG 64 A	7,8	2,6
AG 64 B	10,8	4,3
AGROMEM 1008	11,6	5,4
AGROMEM 1015	5,4	1,3
AGROMEM 1022	15,6	6,0
AGROMEM 1032	9,4	5,3
AGROMEM 2001	9,9	5,3
AGROMEM 2007	7,6	3,4
AGROMEM 2030	10,3	4,1
ASGROW 1240	7,5	1,6
ASGROW 1250	5,0	0,7
ASGROW 1255	17,9	3,5
BR 105	9,6	5,8
Cargill 111 S	7,4	1,7
Cargill 115	8,3	2,3
Cargill 317	9,1	2,4
Cargill 408	6,0	2,5
Cargill 484	7,1	1,8
Cargill 511	5,6	1,6
Campeão PN01	5,6	1,6
Campeão PN02	6,0	1,1
Campeão PB51	7,0	3,4
Contimax 133	9,1	4,3
Contimax 322	6,0	2,1
Contimax 422	5,6	1,9
CMS 05-08	5,1	1,0
CMS 05-11	7,7	2,4
CMS 11-12	6,9	1,5
CMS 12MDI-GI	10,7	5,0
CMS 13GI	7,3	3,7
CMS 14C	5,7	2,3
CMS 19	10,7	5,3
DINA 03S	16,9	5,9
DINA 09	8,5	2,8
DINA 47	14,9	6,0
DINA 3030	10,6	3,9
DK 540	5,7	1,2

TABELA 2. Continuação.

Identificação	CLR	
	Média ± Desvio	
DK 550	8,1	2,5
DK 570	9,2	1,4
DK 580	7,3	0,9
DK 590	6,2	1,1
DK 605	4,5	0,6
DK 606	9,5	3,4
DK XL560	8,0	3,1
KD XL678	6,2	1,8
G 491	5,5	1,8
G 492	5,1	1,5
G 493	5,4	1,2
IAC Hmd 7974	17,3	5,9
IAC Hmd 8214	6,3	2,0
IAC Phoenix Anão	10,9	4,0
IAC Phoenix B	9,7	5,6
IAC Phoenix Latente	6,0	2,1
MO VII	5,7	2,0
Phoenix X9L01	6,2	1,1
Pioneer 6836	12,4	7,6
Pioneer 6875	5,7	1,4
Planagri U610	8,3	1,1
Planagri U962	7,5	2,5
RO 16	6,2	2,2
RO 31	8,1	4,9
RO 66	7,0	1,7
RO 91	12,1	7,0
RO 99	7,7	2,6
RO 333	9,2	2,6
RO 555	10,8	5,9
SAVE 332	5,4	2,1
SAVE 380	11,3	3,9
SAVE 394	9,5	1,3
SAVE 401	8,5	1,4
SG 10	5,1	0,9
SS 1183	8,9	4,3
SS 1193	8,0	1,3
SS 1209	7,6	1,6
SS 1225	10,7	5,3
SS 1243	13,8	5,5
SS 1289	7,7	1,9
SS 1333	7,9	1,6
SS 1397	5,3	1,1
SS 1427	7,1	3,0
UNICAMP Hmd Mazóide 9	8,7	1,4
UNICAMP 214	4,1	0,9
UNICAMP 227	8,5	3,3
UNICAMP 720	16,1	5,3
UNICAMP 729	12,2	2,8
IAC HS 7777	6,2	1,2
IAC HS 1227	20,9	3,0

TABELA 3. Distribuição, em número e percentagem, dos resultados de ICR (índice de crescimento da radícula), em função de classes de valores obtidos de 167 progênies da população IAC Maya e dos controles IAC HS1227 e IAC HS7777, crescidas em solução nutritiva contendo 4,5 mg de Al/l. Campinas, 1983/84.

Intervalo de classe	Pop. IAC-Maya		IAC-HS1227		IAC-HS7777	
	n.º	%	n.º	%	n.º	%
ICR < 0,10	94	56,3	-	-	8	88,9
0,11 - 0,20	62	37,1	-	-	1	11,1
0,21 - 0,30	10	6,0	1	11,1	-	-
0,31 - 0,40	-	-	2	22,2	-	-
0,41 - 0,50	-	-	2	22,2	-	-
0,51 - 0,60	1	0,6	2	22,2	-	-
0,61 - 0,70	-	-	2	22,2	-	-
> 0,70	-	-	-	-	-	-

TABELA 4. Distribuição, em número e percentagem, dos resultados de CLR (crescimento líquido da radícula), em função de classes de valores obtidos de plantas de 466 progênies da população IAC-Taiuba e dos controles IAC HS1227 e IAC HS7777, crescidas em solução nutritiva contendo 4,5 mg de Al/l. Campinas 1983/84.

Intervalo de classe	Pop. IAC-Taiuba		IAC-HS1227		IAC-HS7777	
	n.º	%	n.º	%	n.º	%
ICR < 5,0	105	22,5	-	-	2	9,1
5,1 - 8,0	227	48,7	-	-	20	90,9
8,1 - 11,0	97	20,8	-	-	-	-
11,1 - 14,0	26	5,6	-	-	-	-
14,1 - 17,0	8	1,7	7	31,8	-	-
17,1 - 20,0	3	0,6	14	63,6	-	-
20,1 - 23,0	-	-	1	4,5	-	-
> 23,0	-	-	-	-	-	-

O valor médio de CLR do controle sensível foi de $6,4 \pm 0,7$; portanto, inferior ao mostrado pela população IAC-Taiuba. Da mesma forma que observado para a população IAC-Maya, plantas individuais de algumas progênies S₁ da população IAC-Taiuba também apresentaram crescimento normal em presença de Al na solução nutritiva. A possibilidade de utilizar esse comportamento diferencial para identificação precoce e obtenção de linhagens tolerantes ao Al assume grande importância num programa de melhoramento visando à tolerância do milho ao Al.

CONCLUSÕES

1. Os métodos de avaliação usados foram eficientes na identificação de materiais de milho tolerantes ao Al em solução nutritiva.

2. Os resultados demonstram a ocorrência de ampla variabilidade genética para a tolerância de milho ao Al.

3. Dentre os materiais avaliados, as seguintes linhagens e cultivares apresentaram relativa tolerância ao Al: Porto Rico 70.D.2, Ip 48-5-3, Ip 365-4-1, IA 2992-3-1-2-3, Viç 3-2-3-30-V-6, 490, 519, 532, 535-2 e 820 (linhagens) e AG 82, AG 260, AGROMEM 1022, ASGROW 1255, DINA 03S, DINA 47, IAC Hmd 7974, SS 1243 e UNICAMP 720 (materiais comerciais).

REFERÊNCIAS

BAHIA FILHO, A.F.C.; FRANÇA, G.E.; PITTA, G.V.E.; MAGNAVACA, R.; MENDES, J.F.; BAHIA, F.G.F. T.C. & PEREIRA, P. Avaliação de linhagens e populações de milho em condições de elevada acidez. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO,

- 11., Piracicaba, SP., 1978. Anais. s.l., ESALQ - Dep. Genét., 1978. p.51-8.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; MAGNAVACA, R.; VASCONCELLOS, C.A.; BAHIA, F.G.F.T.C.; PITTA, G.V.E. & NASPOLINI FILHO, V. Caracterização da curva de resposta de híbridos a calagem e fósforo em um solo de elevada acidez. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 13., Goiânia, GO, 1979. Anais. Brasília, EMBRAPA-DID, 1979. p.86.
- CLARK, R.B. & BROWN, J.C. Differential mineral uptake by maize inbreds. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 5:213-27, 1974.
- FOY, C.D. Plant adaptation to mineral stress in problem soils. *Iowa State J. Res.*, 57:339-54, 1983.
- FOY, C.D.; CHANEY, R.L. & WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 29:511-66, 1978.
- FURLANI, P.R. & HANNA, L.G. Avaliação da tolerância de plantas de arroz e milho ao alumínio em solução nutritiva. *R. bras. Ci. Solo*, 8:205-8, 1984.
- GARCIA JUNIOR, O.; SILVA, W.J. da & MASSEI, M. A.S. An efficient method for screening maize inbreds for aluminum tolerance. *Maydica*, 24:75-82, 1979.
- LAFEVER, H.N. Genetic differences in plant responses to soil nutrient stress. *J. Plant Nutr.*, 4:89-109, 1981.
- MAGNAVACA, R. Genetic variability and the inheritance of aluminum tolerance in maize (*Zea mays* L.). Lincoln, Univ. of Nebraska, 1982. 135p. Tese Ph.D.
- RHUE, R.D. & GROGAN, C.O. Screening corn for aluminum tolerance using different Ca and Mg concentrations. *Agron. J.*, 69:755-60, 1977.
- RHUE, R.D.; GROGAN, C.O.; STOCKMEYER, E.W. & EVERETT, H.L. Genetic control of aluminum tolerance in corn. *Crop Sci.*, 18:1063-7, 1978.
- RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E. & SOUZA, D.M.G. Lixiviação de cálcio e magnésio em solos. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C. & SILVA, N.M. Acidez e calagem no Brasil. Campinas, Soc. Bras. Ci. Solo, 1983. p.109-25.
- SILVA, W.J. da. Melhoramento de milho para maior uniformidade de resposta. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUTIVIDADE DO MILHO, Londrina, PR, 1983. Anais. s.l., IAPAR, 1983. p.99-113.