

# **AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE MILHO PARA TOLERÂNCIA À TOXIDEZ DE ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA: RELAÇÃO DA PRECOCIDADE DE EMISSÃO DA RAIZ PRIMÁRIA E ÍNDICE FENOTÍPICO CRRS**

FREDERICO O. M. DURÃES, ANTÔNIO C. OLIVEIRA e VERA M. C. ALVES

E-mail: fduraes@cnpmc.embrapa.br, oliveira@cnpmc.embrapa.br, vera@cnpmc.embrapa.br  
Embrapa Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, 35701-970 Sete Lagoas, MG, Brasil.

Palavras-chave: milho, tolerância, seca, nitrogênio, alumínio

## **INTRODUÇÃO**

No Brasil, os solos ácidos concentram-se na região dos Cerrados, que ocupa em torno de 18% do território (Lopes, 1987). Nestes solos, a toxidez por alumínio (Al) é altamente limitante à produtividade agrícola. Em solos ácidos, formas fitotóxicas de Al são liberadas na solução do solo em níveis que afetam o crescimento da raiz e conseqüentemente da planta (Kochian, 1995). Raízes de plantas, com sintomas de toxidez por Al apresentam-se curtas, grossas e possuem numerosas raízes laterais não desenvolvidas, aumentando a suscetibilidade à seca e reduzindo o uso dos nutrientes do solo (Bona et al., 1991).

Em milho, a maioria das cultivares comerciais é suscetível ao Al tóxico, e, uma alternativa adequada é a utilização de genótipos bem adaptados a solos ácidos, elevando-se a eficiência da cultura em regiões com limitações por acidez.

A característica de tolerância ao Al é dominante, podendo ser controlada por um ou mais genes de ação maior e vários genes modificadores (Kochian, 1995). Assim, várias metodologias de avaliação de tolerância ao Al tóxico, em campo ou casa de vegetação, tem sido desenvolvidas com o objetivo de elucidar os processos genéticos e fisiológicos da tolerância. A solução nutritiva é um procedimento preliminar, utilizado para discriminar os genótipos mais tolerantes e sensíveis, devendo os mesmos serem posteriormente avaliados a campo em condições de solo.

Um dos melhores índices para acessar tolerância ao Al em milho tem sido definido pela alongação da raiz seminal de plântulas crescidas em solução nutritiva. Assim, a discriminação entre linhagens endogâmicas é relativamente fácil em 222  $\mu\text{moles L}^{-1}$  de Al, especialmente quando se utiliza comprimento relativo da raiz seminal (CRRS) (Magnavaca et al., 1987).

O objetivo desse trabalho foi utilizar linhagens endogâmicas de milho, selecionadas para tolerância à seca através do intervalo entre florescimentos masculino e feminino (IFMF) e para eficiência de nitrogênio e tolerância a alumínio, para avaliação precoce em solução nutritiva, através do parâmetro fenotípico CRRS.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Foi conduzido um experimento em solução nutritiva, em casa de vegetação, na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, conforme metodologia descrita por Clark, com modificações de Magnavaca (1982).

Utilizou-se doze linhagens endogâmicas de milho, oriundas de diferentes estratégias do programa de melhoramento de milho da Embrapa Milho e Sorgo, sendo: 8 para tolerância à seca (contrastantes para IFMF), conforme Durães et al. (1999); 2 para

eficiência a nitrogênio, e 2 (controles) para tolerância ao alumínio (contrastantes para CRRS), como mostrado na **Tabela 1**.

**Tabela 1** – Linhagens endogâmicas de milho, contrastantes para características de interesse do melhoramento e/ou fisiológico. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, MG. Maio/2000.

Genótipos	Background Genético	Característica
L 1170	S8	Alto IFMF
L 1147	S8	Alto IFMF
L 13.1.2	S8	Baixo IFMF
L 6.1.1	S8	baixo IFMF
L 10.1.1	S8	baixo IFMF
L 8.3.1	S8	baixo IFMF
L 1.2.1	S8	baixo IFMF
L 1.2.3	S8	baixo IFMF
L 8.1	S5	N eficiente
L 10.2	S5	N ineficiente
L C 237-67	S10	Al tolerante
L 53	S10	Al sensível

IFMF (Intervalo entre florescimentos masculino e feminino, em dias)

CRRS (Comprimento relativo de raiz seminal)

As sementes de cada genótipo foram tratadas com 0,1% (p/p) do fungicida Captan 750 TS e colocadas para germinar em rolos de papel (Germilab). Os rolos foram acondicionados em bandejas contendo água destilada com aeração contínua por borbulhamento. Após sete dias, selecionou-se as plântulas com germinação uniforme e sem danos visíveis nas raízes, e realizou-se o transplântio para bandejas plásticas e opacas contendo 8,5 litros de solução nutritiva com a seguinte composição em  $\mu$ moles L<sup>-1</sup>: 3.527 Ca; 2.310 K; 855 Mg; 10.857 NO<sub>3</sub>; 1.300 NH<sub>4</sub>; 45 P; 587 S; 25 B; 595 Cl; 77 Fe; 9,1 Mn; 0,63 Cu; 0,83 Mo; 2,29 Zn; 7,74 Na; e 75 EDTA, como descrita por Magnavaca (1982) sob aeração contínua. O Al foi fornecido na forma de KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.12H<sub>2</sub>O na concentração final de 222  $\mu$ moles L<sup>-1</sup> de Al. O experimento foi conduzido em casa de vegetação. Cada plântula foi fixada com auxílio de uma esponja a orifícios circulares de 3 cm de diâmetro localizados em placas plásticas apoiadas sobre as bandejas com a solução-tratamento, aí permanecendo por 7 dias. O pH da solução nutritiva foi ajustado para 4,0 no momento do preparo, sendo monitorado e corrigido diariamente, durante o experimento.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com três repetições. Cada parcela experimental foi constituída de 21 plântulas por genótipo, dispostas em aparato de bandejas contendo solução-tratamento com arejamento contínuo. Para cada genótipo foram utilizadas 21 plântulas em solução-controle relativo (0 ppm de Al), em bandeja disposta ao acaso, na mesma bancada do experimento.

Após 7 dias de permanência das plântulas na solução-tratamento, as mesmas foram retiradas. As plântulas tiveram seu comprimento da raiz seminal medidos na ocasião de transferência para solução nutritiva (comprimento inicial da raiz seminal – CIRS) e sete dias após (comprimento final da raiz seminal – CFRS), e foi determinado sua matéria seca (parte aérea e de raiz). O comprimento líquido da raiz seminal (CLRS) foi obtido pela diferença entre o CFRS e CIRS e o comprimento relativo da raiz seminal (CRRS)

pelo CLRS dividido pelo CIRS conforme descrito por Magnavaca (1982). Avaliaram-se, ainda, as variáveis comprimento (inicial e final) da parte aérea (CIPA e CFPA, cm), peso de matéria seca de raiz e parte aérea (PMSR e PMSPA, em g) e relação Raiz/Fitomassa total (base: matéria seca, g).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste de F mostrou diferenças significativas para as variáveis CIRS, CFRS, CRRS, CIPA, CFPA, PMSR, PMSPA, R/(R+PA), e coeficiente de variação (em %) de 4,21, 3,61, 17,54, 5,46, 4,36, 10,14, 14,27 e 7,76, respectivamente.

Os valores das médias de CIRS, CFRS, CRRS, CIPA, CFPA, PMSR, PMSPA e relação Raiz/Parte Aérea, entre as 12 linhagens, estão apresentados nas **Tabelas 2 e 3**.

**Tabela 2** - Comprimento inicial e final de raiz e parte aérea (cm), e índice de comprimento relativo da raiz seminal (CRRS) em plântulas de linhagens endogâmicas de milho. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, MG. Maio/2000.

Genótipo	Raiz			Parte Aérea	
	CIRS (inicial)	CFRS (final)	CRRS	CIPA (inicial)	CFPA (final)
L 1170	13,61 e	18,56 ef	35,92 b	5,349 a	23,43 a
L 1147	16,78 cd	20,55 cd	23,15 c	4,825 bc	17,40 c
L 13.1.2	14,68 e	18,17 f	24,36 c	3,325 fg	16,59 c
L 6.1.1	11,56 f	13,80 g	23,66 c	3,587 f	14,92 d
L 10.1.1	21,96 a	26,29 a	19,97 c	4,937 b	21,17 b
L 8.3.1	17,15 cd	21,06 c	22,99 c	3,516 fg	18,12 c
L 1.2.1	19,68 b	24,52 b	24,88 c	4,667 bc	23,60 a
L 1.2.3	16,75 cd	19,55 de	17,02 c	3,976 e	20,93 b
L 8.1	17,97 c	21,21 c	23,13 c	3,151 g	17,98 c
L 17.2	15,90 d	18,65 ef	17,54 c	3,421 fg	14,70 d
L C 237-67	13,48 e	23,28 b	77,38 a	4,524 cd	20,68 b
L 53	17,00 cd	19,56 de	16,31 c	4,159 de	21,68 b
<b>Média</b>	16,377	20,432	27,193	4,120	19,267
<b>C.V.(%)</b>	4,21	3,61	17,54	5,46	4,36

Médias seguidas da mesma letra não se diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste L.S.D.

Observa-se, para o índice CRRS, que as linhagens que obtiveram os maiores valores foram L C 237-67 (Al tolerante) e L 1170, e as demais não diferiram do da linhagem L 53 (Al sensível). Apenas a L 1170 apresentou potencial de tolerância ao Al tóxico. No geral das linhagens, provavelmente, muito desse comportamento possa ser explicado pelo elevado coeficiente de variação (C.V.) encontrado para o CRRS.

A falta de homogeneidade observada dentro de alguns tratamentos devido a problemas de vigor, pode ter influenciado negativamente os resultados do CRRS, em maior intensidade do que para outras variáveis. Esta falta de homogeneidade, entre as linhagens, deve estar associada à diferença de vigor e desuniformidade de emissão de raiz primária, provocando uma variação no crescimento da raiz primária. Esses resultados demonstram a viabilidade de novos estudos de precocidade de emissão da raiz primária, conjuntamente com CRRS, objetivando elevar a eficiência e confiabilidade na discriminação de genótipos de milho, em solução nutritiva, para tolerância ao Al. Na **Tabela 3** observa-se que a linhagem L C 237-67, a de maior CRRS, apresentou

juntamente com a L 1147 o menor PMSR. Também, os resultados das demais linhagens, para as variáveis PMSR e PMSPA não se mostraram consistentemente relacionados com CRRS.

**Tabela 3** - Produção de matéria seca (g) de raiz e de parte aérea e relação raiz/fitomassa total (% , base matéria seca), em plântulas de linhagens endogâmicas de milho. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, MG. Maio/2000.

Genótipo	Peso de Matéria Seca (g)		Relação (%)*
	Raiz	Parte aérea	Raiz/Fitomassa total
L 1170	0,3500 a	0,5800 a	37,62 cd
L 1147	0,1833 c	0,3667 def	33,60 d
L 13.1.2	0,2667 b	0,3400 ef	44,32 ab
L 6.1.1	0,3000 ab	0,3267 ef	47,91 a
L 10.1.1	0,2500 b	0,4567 bcd	35,45 cd
L 8.3.1	0,2467 b	0,3633 def	40,42 bc
L 1.2.1	0,3000 ab	0,5167 ab	36,74 cd
L 1.2.3	0,3267 a	0,5033 abc	39,45 bcd
L 8.1 (N)	0,3500 a	0,4033 cde	46,64 a
L 17.2 (nN)	0,2600 b	0,2900 f	47,17 a
L C 237-67 (Al)	0,1867 c	0,3533 def	34,56 cd
L 53 (nAl)	0,2933 ab	0,4500 bcd	40,00 bc
<b>Média</b>	<b>0,276</b>	<b>0,412</b>	<b>40,323</b>
<b>C.V.(%)</b>	<b>10,14</b>	<b>14,27</b>	<b>7,76</b>

\* Relação porcentual Raiz/(Raiz+Parte Aérea), com base na matéria seca, em g.

## CONCLUSÕES

- apenas a L 1170 apresentou potencial de tolerância ao Al;
- a falta de homogeneidade do CRRS, observada em algumas linhagens, pode ter influenciado negativamente os resultados, e deve estar associada à diferença de vigor e desuniformidade de emissão da raiz primária, provocando uma variação no crescimento da raiz primária;
- as avaliações entre as linhagens, para as variáveis PMSR e PMSPA não se mostraram consistentemente relacionados com CRRS.

## LITERATURA CITADA

- BONA, L.; MATUZ, J.; PURNHAUSER, L. Aluminium tolerance of *Triticum aestivum* L. populations related to plant-induced pH changes of nutrient solution. **In:** WRIGHT, R.J. ed. **Plant-soil interactions at low pH**. Netherlands: Kluwer Academic, 1991. p. 1057-1062.
- DURÃES, F.O.M.; MAGALHÃES, P.C.; SANTOS, M.X. dos; LOPES, M.A.; PAIVA, E. Seleção de genótipos de milho visando tolerância à seca: estratégia de fenotipagem e utilização de marcadores moleculares. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v.22, n.3, p.718, 1999. Resumo
- KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminum resistance in plants. **Annual Review**

**Plant** Physiology, Palo Alto, v.46, p.237-260, 1995.

LOPES, M.A.; MAGNAVACA, R.; BAHIA-FILHO, A.F.C.; GAMA, E.E.G. Avaliação de populações de milho e seus cruzamentos para tolerância à toxidez de alumínio em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** Brasília, v.22, p.257-263, 1987.

MAGNAVACA, R. **Genetic variability and the inheritance of aluminum tolerance in maize (*Zea mays* L.)** Lincoln: University of Nebraska, 1982. 135p. Tese Doutorado

MAGNAVACA, R.; GARDNER, C.O.; CLARK, R. B. Evaluation of inbred maize lines for aluminum tolerance in nutrient solution. In: GABELMAN, H.W.; LOUGHMAN, B.C. eds. **Genetic aspects of plant mineral nutrition**, Dordrecht: pp. 255-265, 1987. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1987. p.225-265.