

HERANÇA DA TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO NA VARIEDADE DE MILHO 'PIRANÃO' *

José D. Galvão
José Carlos Silva**

1. INTRODUÇÃO

Alumínio é o terceiro elemento em abundância na crosta da terra onde ocorre, principalmente, sob a forma de óxidos, hidróxidos ou como parte dos minerais de argila. O teor de alumínio na solução do solo depende da quantidade, da espécie do composto e da reação do meio. Em quantidade elevada passa a constituir um dos principais fatores limitantes da produção da maioria das culturas (13, 14, 16, 19).

Nas regiões úmidas, os solos estão sujeitos a intensa lixiviação de bases e consequente aumento da acidez. Isso condiciona a presença do alumínio e outros elementos trocáveis, na solução do solo, a níveis tóxicos para as culturas ou a ponto de influenciar significativamente a retenção e disponibilidade de cationtes e aniontes fertilizantes, o que ocorre em mais de 50% dos solos do Brasil (18). Quando em concentração fitotóxica, o alumínio influencia principalmente o sistema radicular, limitando o volume de solo explorado e refletindo negativamente na produção das culturas sensíveis a este elemento (12).

Os sintomas de toxidez descritos referem-se comumente ao desenvolvimento deficiente da parte aérea e ao crescimento reduzido do sistema radicular, em decorrência de inibição da divisão celular (2, 11).

A toxidez de alumínio na parte aérea das plantas é caracterizada por sintomas semelhantes aos de deficiência de fósforo (5, 6, 7, 17). Essa semelhança entre sintomas de deficiência de fósforo e toxidez de alumínio levou, inicialmente, a admitir-se que apenas ocorria uma precipitação de fosfatos de alumínio no solo. As pesquisas conduzidas por WRIGHT e DONAHUE (20) e McLEOD e JACKSON (15) sugeriram, entretanto, que, além da precipitação no solo, ocorre também uma precipitação nas raízes, e que o fósforo assim retido é predominantemente inorgânico e pouco solúvel n'água.

Espécies, e mesmo variedades, reagem diferentemente ao excesso de alumínio no meio de crescimento, sendo classificadas como tolerantes ou como sensíveis (1, 5, 8, 9, 10). Essa tolerância está relacionada com a capacidade de a planta absorver e utilizar fósforo na presença de excesso de alumínio (7). Uma hipótese para explicar essa tolerância é a existência de altos níveis de ácidos orgânicos que quelatam e

* Aceito para publicação em 21-07-1977.

** Respectivamente, Professor Titular (Bolsista do CNPq) e Professor Adjunto da Universidade Federal de Viçosa.

destoxificam o alumínio dentro da planta (7), e outra é que nas plantas tolerantes ocorre um aumento de pH na zona radicular, que reduz a solubilidade e a toxidez do alumínio (4).

No presente trabalho procura-se detectar a existência de variabilidade genética para tolerância a alumínio na variedade de milho 'Piranão'. Constatada a existência desta variabilidade, será determinado o tipo de ação gênica que controla tal caráter, o que permitirá avaliar a possibilidade de obtenção de material tolerante a alumínio, bem como o método de melhoramento a ser adotado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho foi utilizada a variedade de milho 'Piranão', que se caracteriza por apresentar plantas de porte baixo (em razão do gene braquítico-2), resistência ao acamamento, bom rendimento, apresentando ainda certa desuniformidade de porte e tipos de plantas, porque ainda se encontra em fase de melhoramento. Essa variedade foi obtida no Departamento de Genética da Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiróz», a partir do cruzamento da variedade Piramex III com milhos braquíticos (*br2*), da raça Tuxpeño, obtidos do CIMMYT, México. A variedade Piramex III, também de germoplasma da raça Tuxpeño, apresenta plantas muito altas, boa resistência ao acamamento, boa produtividade, grãos amarelos, tipo dentado; o Tuxpeño *br2* é do mesmo tipo racial, porte baixo e grãos brancos. A semente utilizada foi a correspondente ao milho Piranão MS — III — HS-II (três gerações de seleção massal e duas de seleção entre e dentro de famílias de meios-irmãos).

Utilizou-se um solo Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico, com baixo teor de fósforo, alto teor de alumínio trocável e índice de saturação de alumínio consideravelmente elevado. Algumas características físicas e químicas deste solo encontram-se no Quadro 1.

Um campo de cruzamento com 120 fileiras de cinco metros, da variedade de milho 'Piranão', foi plantado, em Viçosa, em novembro de 1974 e colhido em abril de 1975.

Utilizou-se o Delineamento 1 de COMSTOCK e ROBINSON (3), onde o material experimental é obtido por cruzamentos múltiplos entre indivíduos, cruzando-se cada macho com *f* fêmeas, sendo cada fêmea cruzada com um só macho. Tanto as plantas machos como as fêmeas não são selecionadas, mas tomadas ao acaso, de modo que possam ser consideradas como amostra representativa da população original. Assim, em cada fileira cruzou-se a segunda ou terceira planta (progenitor masculino) com seis ou mais fêmeas da fileira. Das 120 fileiras conseguiram-se 88 machos com seis cruzamentos (fêmeas), dando um total de 528 progénies.

Em consequência da limitação de espaço na casa-de-vegetação, foram utilizadas apenas 144 progénies, as quais foram divididas em seis grupos de quatro machos, cada macho cruzado com seis fêmeas, dando 24 progénies. Para cada grupo foi utilizado o delineamento de blocos ao acaso, com duas repetições. A distribuição dos machos para os grupos foi inteiramente ao acaso (sem seleção); assim, cada grupo representa igualmente a população original. Deste modo, as esperanças dos quadrados médios, em termos de parâmetros da população original, são as mesmas para todos os grupos e para a análise conjunta dos grupos (Quadro 2).

A avaliação da tolerância ao alumínio foi feita em casa-de-vegetação, em agosto de 1976, semeando-se 10 sementes de cada progénie por vaso, que continha 1,8 quilogramas de solo. Em cada vaso, as dez sementes, que representavam uma progénie, foram distribuídas uniformemente, a uma profundidade de três centímetros. Após 12 dias do plantio, para uniformização do número de plantas por progénie, foi efetuado o desbaste, deixando-se sete plantas em cada vaso.

Quando as plantas atingiram 35 dias de idade, a parte aérea foi colhida por corte, na base do coletor; as raízes foram colhidas com auxílio de peneira fina e jato d'água. Partes aéreas e raízes foram postas a secar em estufa com circulação forçada de ar, a 67°C, e pesadas para cômputo da produção de matéria seca.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da variância conjunta dos dados, referente ao peso seco da parte aérea, é apresentada no Quadro 3, e a referente ao peso seco das raízes no Quadro 4. Estas análises conjuntas, envolvendo os seis grupos de quatro machos, são válidas

QUADRO 1 - Algumas características químicas e físicas do solo utilizado

Químicas*	Físicas*
pH em água (1:2,5)	4,6
Al ³⁺ (eq. mg/100 g de solo)	1,4
Ca ²⁺ (eq. mg/100 g de solo)	0,80
Mg ²⁺ (eq. mg/100 g de solo)	0,50
K (ppm)	47
P "disponível" (ppm)	3,52
M. O. (%)	3,88
H ⁺ + Al ³⁺ (eq. mg/100 g de solo)	9,90
Índice de saturação de Al (%)	49
	Classificação textural: muito argiloso
	Areia grossa 10%
	Areia fina 18%
	Siltos 70%

* Análises realizadas nos Laboratórios de Química e de Física do Solo do Departamento de Fito-
técnica da ESA - U.F.V.

QUADRO 2 - Esperanças dos quadrados médios para a análise conjunta

F.V.	G.L.	E.Q.M.*
Machos/Grupos	18	$\sigma^2 + 2\sigma_F^2 + 12\sigma_M^2$
Fêmeas/Machos/Grupos	120	$\sigma^2 + 2\sigma_F^2$
Erro	138	σ^2

* σ^2 = Componente residual.

* σ_F^2 = Componente da variação de fêmeas dentro de machos.

* σ_M^2 = Componente da variação entre machos.

QUADRO 3 - Análise de variância conjunta referente ao peso seco da parte aérea

F.V.	G.L.	Q.M.
Machos/Grupos	18	1,2713
Fêmeas/Machos/Grupos	120	0,8677**
Erro	138	0,1450

** Significativo, ao nível de probabilidade de 1%.

C.V. (%) = 13,09 e $\bar{X} = 2,91$.

do ponto de vista estatístico e genético, pois a relação entre o maior e o menor quadrado médio residual, para os diferentes blocos, em nenhum caso ultrapassou 2,3. Além disto, cada grupo de quatro machos é igualmente representativo da população, permitindo, assim, interpretar os componentes de variância das análises conjuntas em termos de variâncias genéticas da população.

Com relação ao peso seco da parte aérea, tendo como base os dados do Quadro 3 e as esperanças dos quadrados médios, conforme o Quadro 2, estimaram-se os valores de σ_F^2 ($0,3613 \pm 0,0398$) e σ_M^2 ($0,0336 \pm 0,0246$). A partir destes componentes

de variância, estimou-se, de acordo com COMSTOCK e ROBINSON (3), a variância genética aditiva [$\sigma_A^2 = (4)(\sigma_M^2) = 0,1345 \pm 0,0983$] e a variância devida à domi-

minância [$\sigma_D^2 = 4(\sigma_F^2 - \sigma_M^2) = 1,3108 \pm 0,1870$]

A herdabilidade no sentido amplo, com base nas médias das famílias, foi $H_a =$

QUADRO 4 - Análise de variância conjunta referente ao peso seco das raízes

F.V.	G.L.	Q.M.
Machos/Grupos	18	0,8492
Fêmeas/Machos/Grupos	120	1,0621**
Erro	138	0,2488

** Significativo, ao nível de probabilidade de 1%.

C.V. (%) = 17,90 e $\bar{X} = 2,79$

$$\sigma_G^2 / \sigma_P^2 = (\sigma_M^2 + \sigma_F^2) / \sigma_P^2 = 0,8449, \text{ onde } \sigma_G^2 = \text{variabilidade genética entre as famílias}$$

$$\text{e } \sigma_P^2 = \text{variabilidade fenotípica entre as médias das famílias} = \sigma^2/2 + \sigma_F^2$$

+ σ_M^2 . Este elevado valor de Ha reflete as condições uniformes do experimento

conduzido em casa-de-vegetação. Contudo, o valor de maior interesse, a herdabilidade no sentido restrito, caiu para $H = \sigma_A^2 / \sigma_P^2 = 0,2878$, mostrando que parte

bem pequena da variabilidade genética é de natureza aditiva. Este fato, sem dúvida, será um empecilho na obtenção de progressos com relação à tolerância ao alumínio na variedade 'Piranão'. Para os métodos de seleção menos sofisticados, como a seleção massal, a herdabilidade no sentido restrito seria, muito provavelmente, bem menor, tornando o método impraticável. Os dados deste estudo mostram como a simples estimativa da herdabilidade no sentido amplo pode levar a conclusões errôneas. O mesmo se pode dizer quanto ao coeficiente de variação genética, CVG = $\sqrt{\sigma_M^2 + \sigma_F^2} / X = 0,2159$, o qual indica a presença de variabilidade

genética, mas não especifica o tipo de variabilidade.

No presente estudo foi feita uma seleção de 20% das melhores progénies quanto ao peso seco da parte aérea, e o ganho genético esperado com esta seleção é dado pela fórmula seguinte, onde K representa o diferencial de seleção em unidades de desvio-padrão: G.G. = $(K)(\sigma_A^2)(1/2) / \sqrt{\sigma_P^2} = (1,40)(0,1345)(1/2) / \sqrt{0,4675} =$

0,1377 g, o que corresponde a um ganho, em porcentagem da média, de 4,73%, sendo este um ganho pequeno para o tipo de seleção usado.

Quanto ao peso das raízes (Quadro 4), o quadrado médio para machos, além de não ser significativo, foi menor que o quadrado médio para fêmeas dentro de machos, sendo isto uma impropriedade que a lei do acaso permite ocorrer, e que resultou numa estimativa negativa de σ_M^2 (- 0,0177 ± 0,0177). Por conseguinte, a

estimativa da variância aditiva foi também negativa (- 0,0710 ± 0,0710), mas, como se nota pelos desvios-padrão, nenhuma das duas estimativas foi significativamente diferente de zero. A estimativa de σ_F^2 foi de 0,4067 ± 0,0984, resultando numa

estimativa de σ_D^2 de 1,6976 ± 0,400. Como no caso do peso seco da parte aérea, a

estimativa da herdabilidade no sentido amplo foi alta (75,77%). A herdabilidade no sentido restrito foi tomada como zero, e o ganho genético esperado por seleção foi pois, também, aproximadamente zero, apesar de um coeficiente de variabilidade genética de 37,36%. A ausência de variabilidade genética aditiva para peso seco das raízes na variedade 'Piranão', quando submetida a condições de deficiência de fósforo e excesso de alumínio, talvez seja uma indicação de que este não é um caráter próprio para se estudar a tolerância ao alumínio. É sabido que o excesso de alumínio tem como resultado o encurtamento e o engrossamento das raízes, podendo estes dois efeitos talvez se anularem na ação conjunta sobre o peso. Provavelmente, melhor opção seria o estudo direto do diâmetro e do comprimento das raízes.

Finalmente, tanto para peso seco das raízes como para peso seco da parte aérea, dada à reduzida variabilidade genética aditiva e à ampla presença de variabilidade genética devida à dominância, acredita-se, baseado nos dados obtidos, que seria mais proveitosa a utilização de métodos de melhoramento para a produção de híbridos tolerantes ao excesso de alumínio do que métodos mais simples de seleção intrapopulacional, como a seleção massal.

4. RESUMO

Foi utilizado o delineamento I de Comstock e Robinson na obtenção de 144 progénies na variedade de milho 'Piranão', a qual é homozigota para o gene brachítico — 2. Estas progénies foram testadas em casa-de-vegetação, utilizando-se solo com baixo teor de fósforo (3,52 ppm) e alto teor de alumínio (índice de saturação de alumínio de 49%). Foram feitas duas repetições, cada repetição representada por um vaso com 1,8 quilogramas de solo, no qual foram plantadas 10 sementes que representavam uma progénie. Após 12 dias do plantio, para uniformização do número de plantas por progénie, foi efetuado o desbaste, deixando-se sete plantas em cada vaso. Aos 35 dias após o plantio, colheram-se, separadamente, a parte aérea e as raízes, sendo ambas secadas e pesadas para cômputo da produção de matéria seca.

Da análise dos dados referentes ao peso seco da parte aérea estimativas para a variância genética aditiva ($0,1345 \pm 0,0983$), para variância causada pela dominância ($1,3108 \pm 0,1870$) e para o coeficiente de variação genética (21,59%) foram obtidas. A herdabilidade, com base nas médias das progénies, foi de 84,49% no sentido amplo e de 28,78% no sentido restrito. Como resultado da seleção de 20% das melhores progénies, espera-se um incremento na média do ciclo I de 0,1377 g, o que corresponde a um aumento de 4,73% em relação à média da população original.

Quanto ao peso das raízes, a estimativa da variância genética aditiva foi negativa ($-0,0710 \pm 0,0710$), mas não significativa. A estimativa da variância devida à dominância foi de $1,6976 \pm 0,400$, e o coeficiente de variação genética foi de 37,36%. A herdabilidade no sentido restrito foi tomada como zero, e, deste modo, espera-se um ganho genético quase nulo para seleção entre as progénies.

Para ambos os caracteres as estimativas das herdabilidades no sentido amplo foram altas, refletindo as condições uniformes do experimento conduzido em casa-de-vegetação. Contudo, da variabilidade genética presente, a variância devida à dominância foi muito maior que a variância aditiva, indicando ser necessário o uso de métodos mais sofisticados de melhoramento para tolerância ao alumínio, possivelmente métodos para a produção de híbridos.

5. SUMMARY

In order to determine the extent of genetic variability in aluminum tolerance within the brachytic-2 maize variety 'Piranão', 144 progenies were produced according to Comstock and Robinson's design I. Progenies were evaluated in greenhouse trials with two replications. In each replication, seeds of each progeny were sown in pots containing 1.8 kg of soil with a phosphorus content of 3.52 ppm and aluminum saturation index of 49%. Twelve days after planting, seedlings were thinned, leaving seven per pot. On the thirty-fifth day after planting, the experiment was harvested and roots, and aerial parts of the plants were separated. These were dried and weighed in order to evaluate production of dry matter.

From analysis of the data estimates were obtained for additive genetic variance (0.1345 ± 0.0983), dominance variance (1.3108 ± 0.1870) and genetic coefficient of variation (21.59%). The heritability in the broad sense was 84.49%, and in the narrow sense 28.78%, both estimates of heritabilities being based on progeny means. As a result of selection of the best 20% of the progenies, an increase in mean weight of the cycle I of 0.1377 g is expected, corresponding to a gain of 4.73% in relation to the mean of the original population.

For the dry weight of the roots the estimate for the additive genetic variance was negative (-0.0710 ± 0.0710), but not significant. Estimates were also obtained for the dominance variance (1.6976 ± 0.4000), genetic coefficient of variation (37.36%) and for heritability in the broad sense (75.77%). Heritability in the narrow sense was taken as zero, and so the genetic gain expected from selection is about null.

For both characters the estimates of heritabilities in the broad sense were high, mostly as a result of the uniformity of conditions in the greenhouse. However, the biggest component of the genetic variability was the dominance variance, and this may be a good hint that in selecting for tolerance to aluminum using these characters, one should aim at producing hybrids.

6. LITERATURA CITADA

1. BRENES, E. & PEASON, R.W. Root response of three gramineae species to soil acidity in an oxisol and utisol. *Soil Sci.* 116(4): 295-302. 1973.
2. CLARKSON, D.T. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. *Plant Physiol.* 41(1):165-172. 1966.
3. COMSTOCK, R.E. & ROBINSON, H.F. Estimation of average dominance of genes. In: *Heterosis*. Ames, IOWA State College Press, 1952. p. 494-516.
4. FOY, C. D. Effects of aluminum on plant growth. In: ARSON E. W. *The Plant Root and its Environments*. University Press of Virginia, 1974. p. 601-642.
5. FOY, C.D. Differential aluminum and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. *Ciência e Cultura* 28(2):150-155. 1976.
6. FOY, C.D. & BROWN, J.C. Toxic factors in acid soils. I. Characterization of aluminum toxicity in cotton. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 27(4):403-407. 1963.
7. FOY, C.D. & BROWN, J.C. Toxic factors in acid soils. II. Differential aluminum tolerance of plant species. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28(1):27-32. 1964.
8. FOY, C.D., ARMIGER, W.H., BRIGGLE, L.W. & REID, D.A. Differential aluminum tolerance of wheat and barley varieties in acid soil. *Agron. J.* 57(5):413-417. 1965.
9. 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. Amer. Proc.* 29(1):64-67. 1965.
10. FOY, C.D., FLEMING, A.L. & GERLOFF, G.C. Differential aluminum tolerance in two snap bean varieties. *Agron. J.* 64(6):815-818. 1972.
11. HUCK, M.G. Impairments of sucrose utilization for cell wall formation in the roots of aluminum damaged cotton seedlings. *Plant and Cell Physiol.* 13(1):7-14. 1972.
12. KAMPRATH, E.S. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34(2):252-254. 1970.
13. MCLEAN, A.A. & CHIASSON, T.C. Differential performance of two barley varieties to varying aluminum concentrations. *Can. J. Soil Sci.* 46(2):147-153. 1966.
14. MCLEAN, F.T. & GILBERT, B.E. The relative aluminum tolerance of crop

- plants. *Soil. Sci.* 24(5):163-174. 1927.
15. McLEOD, L.B. & JACKSON, L.P. Aluminum tolerance of two barley varieties in nutrient solution, pea, and soil culture. *Agron. J.* 59(4):359-363. 1967.
16. MUNNS, D.N. Soil acidity and the growth of a legume. II. Reactions of aluminum and phosphate in solution and effects of Al, phosphate, Ca and pH on *Medicago sativa* L. and *Trifolium subterraneum* L. in solution culture. *Aust. J. Agr. Res.* 16(5):743-755. 1965.
17. RANDALL, J.P. & VOSE, P.B. Effect of aluminum on uptake and translocation of phosphorus by perennial ryegrass. *Plant Physiol.* 38(4):403-409. 1963.
18. SILVA, A.R. Melhoramento genético para resistência à toxidez de alumínio e manganês no Brasil. Antecedentes, necessidade e possibilidades. Tópicos para discussão e pesquisas. *Ciência e Cultura* 28 (2):147-149. 1976.
19. VLAMIS, J. Acid soil infertility as related to soil solution and solid phase. *Soil Sci.* 75(5):383-394. 1953.
20. WRIGHT, K.E. & DONAHUE, B.A. Aluminum toxicity studies with radioactive phosphorus. *Plant Physiol.* 28(4):674-680. 1953.