

VARIABILIDADE GENÉTICA DA TOLERÂNCIA À SALINIDADE CAUSADA POR SULFATO DE AMÔNIO EM MILHO (*Zea mays* L.), VARIEDADE 'PIRANÃO'^{1/}

Ingrid Peters^{2/}
José Carlos Silva^{2/}
José Domingos Galvão^{3/}

1. INTRODUÇÃO

A aplicação de doses elevadas de fertilizantes agrícolas nitrogenados minerais nos sulcos de plantio, próximo às sementes, ocasiona, freqüentemente, a formação de regiões com concentração salina excessiva para a germinação e os primeiros estádios do crescimento da planta.

As falhas decorrentes da falta de germinação ou do crescimento retardado dessas plantas influenciam diretamente a população de plantas e, conseqüentemente, a produção.

Os danos causados pelos sais às plantas podem ser atribuídos, em síntese, aos efeitos osmóticos, às deficiências nutricionais, às lesões na membrana celular e aos distúrbios metabólicos, causados pelos seus íons (12).

No caso particular do sulfato de amônio, devem-se considerar os efeitos tóxicos diretos, decorrentes da liberação de NH_3 ou de NH_4^+ em solos alcalinos e ácidos, respectivamente (2, 4, 11, 17, 20), e os efeitos indiretos, causados por esse fertilizante sobre a absorção de outros nutrientes minerais pela planta, mediante modificações no pH do solo (8, 16).

^{1/} Parte da tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, pelo primeiro autor, como uma das exigências para a obtenção do grau de «Magister Scientiae» em Genética e Melhoramento.

Recebido para publicação em 08/01/1980.

^{2/} Universidade Federal de Viçosa — Departamento de Biologia Geral — 36570 — Viçosa — MG.

^{3/} Universidade Federal de Viçosa — Departamento de Fitotecnia — 36570 — Viçosa — MG.

O acúmulo de amônia no interior da planta provoca distúrbios no seu metabolismo, os quais abrangem desde a inibição da síntese de proteínas até a inibição de processos fisiológicos, tais como fotossíntese e respiração, manifestando-se ainda por meio de modificações citológicas e sintomas externos característicos (1, 2, 3, 17, 20).

Um estudo realizado por SOYER *et alii* (20) em variedades de milho evidenciou dois pontos básicos: a importância do fator genético, que condiciona a tolerância a doses elevadas de sulfato de amônio, e a influência, não menos determinante, do pH do solo sobre a manifestação dos sintomas de toxidez. Esse último aspecto foi demonstrado também por HUNTER e ROSENAU (11).

MILLAN (14) detectou variabilidade genética para essa tolerância na variedade de milho 'Piranão'.

As evidências da origem genética da tolerância aos efeitos tóxicos causados por altas concentrações de sulfato de amônio em milho despertaram o interesse pela identificação dos tipos de ação gênica envolvidos no seu condicionamento e pela possibilidade de obtenção de plantas tolerantes por meio de seleção. Esses aspectos foram considerados neste trabalho, em que se estimaram as variâncias e covariâncias genéticas, para características escolhidas como representativas do desenvolvimento da planta, analisando-se o resultado de 2 ciclos de seleção massal, aplicados à variedade de milho 'Piranão'.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Metodologia Geral

A variedade de milho 'Piranão', utilizada neste trabalho, foi obtida pelo Departamento de Genética da Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», São Paulo (9).

Os experimentos foram realizados em casa-de-vegetação, na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. A cada parcela, constituída de um vaso com 1800 g de solo seco, aplicaram-se 6 g de sulfato de amônio, na forma de adubo comercial (21% de nitrogênio), dissolvidos em 300 ml de água. Foram plantadas 10 sementes por parcela, à profundidade uniforme de 3 cm.

O número de plantas emergidas em cada parcela foi contado diariamente, durante 12 dias consecutivos. Ao vigésimo dia após o plantio, as plantas foram colhidas, avaliando-se as seguintes características: peso da matéria seca da planta, da parte aérea e das raízes, razão entre o peso da parte aérea e o das raízes, número médio de dias decorridos entre o plantio e emergência e percentagem de plantas emergidas em cada parcela.

2.2. Estimação dos parâmetros genéticos

Para a obtenção e análise das progênes foi empregado o Delineamento I, descrito por COMSTOCK e ROBINSON (6). Foram analisadas 464 progênes, distribuídas em 4 experimentos, com duas repetições, conforme se vê no Quadro 1. A distribuição em 4 experimentos foi necessária por motivos de ordem prática, dado o grande número de plantas avaliadas. Grupos de progênes correspondentes a $m = 4$ plantas consideradas «machos» formaram um bloco. Os «machos» foram atribuídos, aleatoriamente, a cada um dos s blocos, nos experimentos. A análise de variância obedeceu ao esquema exposto no Quadro 2.

Os componentes de covariância foram isolados a partir dos respectivos produtos médios, segundo MODE e ROBINSON (15).

QUADRO 1 - Dados sobre a distribuição das progênes para a análise do Delineamento I, nos Experimentos I, II, III e IV, realizados em casa-de-vegetação

Experi- mento	Plantio colheita	Nº de progênes (s.m.f)	Nº de blocos (s)	Nº de machos por bloco (m/s)	Nº de fêmeas por bloco (f/m/s)	Nº de sementes plantadas (r.s.m.f.n)
I	01-09-76					
	21-09-76	144	6	4	6	2880
II	28-09-76					
	18-10-76	144	6	4	6	2880
III	29-12-76					
	17-01-77	96	4	4	6	1920
IV	13-09-77					
	02-10-77	80	4	4	5	1600
TOTAL		464				9280

QUADRO 2 - Esquema da análise de variância conjunta para os blocos, referente ao Delineamento I, de COMSTOCK e ROBINSON, 1952

FV	GL	QM	E(QM)
Blocos	s-1		
Repetição/blocos	s(r-1)		
Machos/blocos	s(m-1)=N ₁	M ₁	$\sigma_e^2 + r\sigma_{f/m}^2 + rf\sigma_m^2$
Fêmeas/machos/blocos	sm(f-1) = N ₂	M ₂	$\sigma_e^2 + r\sigma_{f/m}^2$
Erro entre parcelas	s(mf-1) (r-1) = = N ₃	M ₃	$\sigma_e^2 = (E_w + A)/k + E_p$
Erro dentro de parcelas	$\Sigma(n-1)$	M ₄	$E_w + A$
em que:			
σ_m^2 = componente de variância causado por diferenças genotípicas entre os machos;			
$\sigma_{f/m}^2$ = componente de variância causado por diferenças genotípicas entre fêmeas acasaladas com um mesmo macho;			
σ_e^2 = variância entre parcelas, dentro da repetição (erro entre parcelas);			
E_p = variância de ambiente, entre parcelas, dentro da repetição;			
$E_w + A$ = variância entre plantas dentro das parcelas, sendo E_w a variância de ambiente dentro da parcela e A a variância genética dentro da parcela;			
k = média harmônica do número de plantas por parcela.			

2.3. Comparação do desempenho das populações original, de 1.º e de 2.º ciclo de seleção, em condições de plantio normais e salinas

O primeiro ciclo de seleção, C₁, foi obtido por MILLAN (14), em 1975, o qual selecionou plantas tolerantes, em casa-de-vegetação, usando vasos que continham solo e sulfato de amônio, conforme a metodologia já descrita. Aos 20 dias, as plantas que se mostraram tolerantes foram transplantadas para o campo, e, posteriormente, recombina- das, na época da floração, por meio de cruzamentos não recíprocos. As sementes produzidas pelas plantas tolerantes recombina- das constituíram a popula-

ção C_1 . A população de 2.º ciclo de seleção, C_2 , foi obtida pelo mesmo método, a partir de uma amostra de 2880 plantas da população C_1 . A população original, C_0 , e as populações selecionadas, C_1 e C_2 , foram comparadas, em ensaio realizado em casa-de-vegetação, em condições de cultivo normais e salinas, utilizando-se 10 plantas por parcela (vaso) e delineamento em blocos ao acaso, com 10 repetições. O grau de tolerância foi avaliado com base nas características mencionadas no item 2.1.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Descrição dos sintomas de toxidez

Os primeiros sintomas de toxidez manifestaram-se no 3.º dia após a emergência das plântulas. As folhas adquiriram manchas escuras, que, posteriormente, se transformaram em lesões necróticas. Houve queima marginal nas folhas, a qual se estendeu progressivamente por toda a lâmina, iniciando-se pelo ápice e seguindo pela nervura central. Frequentemente, as folhas permaneceram enroladas, formando um cone compacto. Com o crescimento, as folhas mais novas romperam o cone lateralmente, ficando, no entanto, presas pelo ápice, o que contribuiu para que as plantas tomassem a forma de alça, o que está de acordo com a descrição feita por HUNTER e ROSENAU (11).

O crescimento da grande maioria das plantas cessou antes do estágio de 5 folhas. As raízes dessas plantas apresentaram-se grossas e curtas, com extremidades arredondadas; somente as plantas cuja parte aérea atingiu mais de 20 cm desenvolveram raízes com ramificações primárias, raramente observando-se ramificações de ordem superior.

As plantas tolerantes apresentaram desenvolvimento normal, tanto da parte aérea quanto da raiz. A parte aérea, aos 20 dias, apresentou um comprimento médio de 36 cm.

3.2. Variâncias genéticas estimadas pelo Delineamento I

Os resultados das análises de variância referentes aos Experimentos I, II, III e IV encontram-se nos Quadros 3, 4, 5 e 6, respectivamente.

Isolando-se o componente de variância σ_m^2 , obtiveram-se, com frequência, valores negativos. Pode-se observar que os valores de σ_m^2 obtidos foram baixos e apresentaram, na maioria dos casos, desvio-padrão maior que o valor estimado para o próprio componente, refletindo o resultado obtido por meio do teste F. Os valores negativos de σ_m^2 encontrados foram considerados estimativas de um valor nulo, segundo SEARLE (19).

A significância do componente $\sigma_{f/m}^2$ evidenciou, entretanto, a presença de variância genética para todas as características analisadas.

Os componentes σ_m^2 e $\sigma_{f/m}^2$, no Delineamento I, podem ser interpretados, em termos de variâncias genéticas, na ausência de epistasia, como sendo constituídos de $(1/4) \sigma_A^2$ e $(1/4) \sigma_A^2 + (1/4) \sigma_D^2$, respectivamente (5, 10). Consequentemente, não houve variância genética aditiva para as características em cuja análise o componente σ_m^2 foi nulo. Nesses casos, a esperança de $\sigma_{f/m}^2$, em termos de variâncias genéticas, reduziu-se a $(1/4) \sigma_D^2$.

A variância genética dentro de parcelas, representada por A no Quadro 2, contém, na ausência de epistasia, $(1/2) \sigma_A^2 + (3/4) \sigma_D^2$, podendo-se estabelecer a seguinte igualdade:

$$A = 3 \sigma_{f/m}^2 - \sigma_m^2$$

QUADRO 3 - Quadrados médios da análise de variância, médias, coeficientes de variação, componentes σ_m^2 , $\sigma_{f/m}^2$ e σ_e^2 e desvios-padrão, no Experimento I

Fonte de Variação	GL	Caracteres					
		Porcentagem de emergência	Nº de dias para a emergência	Peso total da planta (g)	Peso da Parte aérea (g)	Peso da raiz (g)	Razão Parte aérea / raiz
Quadrados Médios							
Machos/blocos	18	0,731412	0,982181	0,000587	0,000252	0,000180	0,602531*
Fêmeas/machos/blocos	120	2,758540**	0,837553**	0,000326**	0,000313**	0,000214**	0,303922**
Erro	138	0,376378	0,343545	0,000366	0,000126	0,000126	0,159412
Médias		88,654 ± 9,779	7,011 ± 0,586	0,077 ± 0,019	0,046 ± 0,011	0,031 ± 0,011	1,616 ± 0,399
C.V.		6,55	8,36	24,84	24,29	36,51	24,71
σ_m^2		-0,168927 ±0,052774	0,012052 ±0,027382	0,000020 ±0,000017	0,000005 ±0,000007	0,000003 ±0,000005	0,024884 ±0,016205
$\sigma_{f/m}^2$		1,191081 ±0,178024	0,247004 ±0,057415	0,000230 ±0,000057	0,000094 ±0,000020	0,000044 ±0,000014	0,072255 ±0,021664
σ_e^2		0,376378 ±0,044986	0,343545 ±0,041061	0,000366 ±0,000044	0,000126 ±0,000014	0,000126 ±0,000014	0,159412 ±0,019053

* Significativo ($P \leq 0,05$), pelo teste F.

** Significativo ($P \leq 0,01$), pelo teste F.

QUADRO 4 - Quadrados médios da análise de variância, médias, coeficientes de variação, componentes σ_m^2 , σ_f^2 e σ_e^2 e desvios-padrão, no Experimento II

Fonte de Variação	GL	Caracteres					
		Porcentagem de emergência	Nº de dias para a emergência	Peso total da planta (g)	Peso da parte aérea (g)	Peso da raiz (g)	Razão parte aérea / raiz
		Quadrados Médios					
Machos/blocos	18	1,610070	0,421978	0,010137	0,003406	0,002080	0,519793
Fêmeas/machos/blocos	120	2,288390**	0,426380**	0,011249**	0,003886**	0,002231**	0,652058*
Erro	138	0,171139	0,152104	0,001413	0,000449	0,000517	0,451177
Médias		91,302 ± 7,012	6,977 ± 0,390	0,163 ± 0,038	0,101 ± 0,021	0,062 ± 0,023	1,959 ± 0,672
C.V.		4,35	5,59	23,02	20,88	36,78	34,29
σ_m^2		-0,056527 ± 0,073429	-0,000367 ± 0,012015	-0,000093 ± 0,000293	-0,000040 ± 0,000099	-0,000013 ± 0,000060	-0,011022 ± 0,015363
σ_f^2		1,058626 ± 1,146856	0,137138 ± 0,028770	0,004918 ± 0,000725	0,001719 ± 0,000250	0,000857 ± 0,000146	0,100441 ± 0,049694
σ_e^2		0,171139 ± 0,020455	0,152104 ± 0,018180	0,001413 ± 0,000169	0,000449 ± 0,000054	0,000517 ± 0,000062	0,451177 ± 0,053926

* Significativo ($P \leq 0,05$), pelo teste F.

** Significativo ($P \leq 0,01$), pelo teste F.

QUADRO 5 - Quadrados médios da análise de variância, médias, coeficientes de variação, componentes σ_m^2 , $\sigma_{f/m}^2$ e σ_e^2 desvios-padrão, no Experimento III

Fonte de Variação	GL	Caracteres					
		Percentagem de emergência	Nº de dias para a emergência	Peso total da planta (g)	Peso da parte aérea (g)	Peso da raiz (g)	Razão parte aérea / raiz
		Quadrados Médios					
Machos/blocos	12	2,918080	0,793715*	0,005610	0,002542	0,001075	8,336640
Fêmeas/machos/blocos	80	0,258740**	0,340518**	0,006533**	0,002243**	0,001326**	7,517540**
Erro	92	0,141343	0,074767	0,001013	0,000429	0,000273	3,742710
Médias		91,003 ± 6,589	6,214 ± 0,273	0,124 ± 0,032	0,095 ± 0,021	0,028 ± 0,017	4,756 ± 1,935
C.V.		3,96	4,40	25,68	21,69	58,14	40,68
σ_m^2		0,054945 ±0,144746	0,037766 ±0,025389	-0,000077 ±0,000196	0,000025 ±0,000085	-0,000021 ±0,000038	0,068258 ±0,280214
$\sigma_{f/m}^2$		1,058699 ±0,176679	0,132876 ±0,027143	0,002760 ±0,000515	0,000907 ±0,000178	0,000527 ±0,000105	1,887415 ±0,647382
σ_e^2		0,141343 ±0,020617	0,074767 ±0,010906	0,001013 ±0,000148	0,000429 ±0,000063	0,000273 ±0,000040	3,742710 ±0,545930

* Significativo ($P \leq 0,05$), pelo teste F.

** Significativo ($P \leq 0,01$), pelo teste F.

QUADRO 6 - Quadrados médios da análise de variância, médias, coeficientes de variação, componentes σ_m^2 , $\sigma_{f/m}^2$ e σ_e^2 e desvios-padrão, no Experimento IV

Fonte de Variação	GL	Caracteres					
		Porcentagem de emergência	Nº de dias para a emergência	Peso total da planta (g)	Peso da parte aérea (g)	Peso da raiz (g)	Razão parte aérea/raiz
		Quadrados Médios					
Machos/blocos	12	2,097920	0,765957	0,000469	0,000251	0,000064	0,340715
Fêmeas/machos/blocos	64	3,318860**	0,559528**	0,000789**	0,000330**	0,000128**	0,448308**
Erro	76	0,398087	0,288937	0,000344	0,000171	0,000042	0,217349
Médias		83,361 ± 10,153	6,874 ± 0,583	0,077 ± 0,019	0,052 ± 0,013	0,025 ± 0,013	2,131 ± 0,466
C.V.		6,96	7,32	24,05	25,39	25,45	21,88
σ_m^2		-0,122094 ± 0,098109	0,020643 ± 0,030545	0,000032 ± 0,000022	-0,000008 ± 0,000011	-0,000006 ± 0,000003	-0,010759 ± 0,015058
$\sigma_{f/m}^2$		1,460387 ± 0,290623	0,135296 ± 0,053916	0,000223 ± 0,000074	0,000080 ± 0,000032	0,000043 ± 0,000012	0,115480 ± 0,042725
σ_e^2		0,398087 ± 0,063745	0,288937 ± 0,046267	0,000344 ± 0,000055	0,000171 ± 0,000027	0,000042 ± 0,000007	0,217349 ± 0,034805

* Significativo ($P \leq 0,05$), pelo teste F.

** Significativo ($P \leq 0,01$), pelo teste F.

que, no presente caso, reduz-se a

$$A = 3 \sigma_{f/m}^2 = (3/4) \alpha_D^2$$

Discrepâncias nessa igualdade podem ser parcialmente atribuíveis a efeitos de epistasia, não considerados no modelo.

No Quadro 7 são encontrados os valores das variâncias entre e dentro de parcelas, assim como os valores de A e de $3 \sigma_{f/m}^2$, estimados no Experimento IV. O valor de A foi obtido considerando-se a variância de origem ambiental dentro de parcelas (E_w) igual à variância de origem ambiental entre parcelas. A média harmônica do número de plantas por parcela foi $k = 7,45$.

Nota-se uma tendência geral de a variância genética dentro das parcelas apresentar um valor maior que o estimado por $3 \sigma_{f/m}^2$, principalmente para as características número de dias para a emergência e razão parte aérea/raiz. Para essas características, a diferença entre as duas estimativas foi da ordem de 73,94% e 40,46%, respectivamente. O Delineamento I não permite maiores inferências a respeito da variância genética de epistasia, mas o resultado sugere que esta seja de importância no condicionamento das duas características mencionadas.

3.3. Comparação das populações 'Piranão' original, 1.º e 2.º ciclos de seleção para tolerância

Os resultados da comparação entre as três populações, C_0 , C_1 e C_2 , na presença e na ausência do sal, encontram-se no Quadro 8. O tratamento com sulfato de amônio exerceu efeito depressivo sobre todas as características analisadas, à exceção da característica percentagem de emergência. A população C_2 mostrou, entretanto, percentagem de emergência mais baixa do que a das populações C_0 e C_1 , na ausência de sulfato de amônio. Essa redução foi significativa, a 5% de probabilidade.

As três populações não diferiram quanto ao número médio de dias para a emergência, na ausência de sulfato de amônio, mas a população C_2 emergiu mais rapidamente, quando comparada às demais, na presença do sal.

Com referência às características peso total da planta, peso da parte aérea, peso da raiz e razão parte aérea/raiz, não houve diferenças significativas entre as médias das três populações, na presença de sulfato de amônio. Houve, entretanto, redução significativa da parte aérea, da raiz e, conseqüentemente, da planta inteira, a partir do 1.º ciclo de seleção, na ausência de sulfato de amônio.

Os resultados apresentados mostram que os dois ciclos de seleção não foram eficientes, de modo geral, para aumentar o grau de tolerância na população. Esse fato concorda com as expectativas baseadas nas variâncias genéticas estimadas pelo Delineamento I, na população original, uma vez que o ganho esperado pela seleção é diretamente dependente da presença de variância genética aditiva (7).

A redução significativa no peso médio das plantas, notada nos ciclos 1 e 2, na ausência de sulfato de amônio, poderia representar um indício de resposta à seleção. Nesse caso, essa resposta só se manifestou na ausência do sulfato de amônio, sugerindo que as plantas nas populações C_1 e C_2 sejam menos eficientes na utilização do nitrogênio disponível no solo sem sulfato de amônio, apresentando, conseqüentemente, crescimento reduzido, quando comparadas às da população C_0 .

A explicação para a ausência de variância genética aditiva, constatada, nos Experimentos I, II, III e IV, para praticamente todas as características, deve levar em consideração os resultados obtidos por meio dos dois ciclos de seleção. Há condições em que a variância genética aditiva se anula, mesmo na presença de efeitos aditivos (18), e são esses, na realidade, os efeitos genéticos responsáveis pelo suces-

QUADRO 7 - Variação entre as parcelas, parte dessa variação que é atribuída à variação dentro das parcelas, variação genética dentro das parcelas e estimativa do valor de $3 \sigma^2_{f/m}$, no Experimento IV

Característica	$\frac{E_w + A}{k} + E_p$	$\frac{E_w + A}{k}$	A	$3 \sigma^2_{f/m}$
Nº de dias para a emergência	0,288937	0,218497	1,557365	0,405887 $\pm 0,161747$
Peso total da planta	0,000344	0,000149	0,000916	0,000668 $\pm 0,000222$
Peso da parte aérea	0,000171	0,000070	0,000420	0,000239 $\pm 0,000096$
Peso da raiz	0,000042	0,000021	0,000132	0,000128 $\pm 0,000035$
Razão parte aérea/raiz	0,217349	0,094586	0,581906	0,346439 $\pm 0,128175$

k = 7,45 (média harmônica do número de plantas por parcela).

QUADRC 8 - Comparação das populações: original (C_0), 1º ciclo de seleção (C_1) e 2º ciclo de seleção (C_2), em solo com sulfato de amônio (S.A. = 6 g por vaso) e sem sulfato de amônio

Fonte de Variação	GL	Porcentagem de emergência	Nº de dias para a emergência	Peso total da planta (g)	Peso da parte aérea (g)	Peso da raiz (g)	Razão parte aérea / raiz
Quadrados Médios							
Repetição	9	21,481500	0,048908	0,000750	0,000428	0,000135	0,054115
Nível de S.A.	1	6,666667	15,100100**	4,428480**	1,043490**	1,172630**	22,035500**
Ciclo/solo sem S.A.	2	123,333333*	0,013000	0,027542**	0,009335**	0,004939**	0,007173
Ciclo/solo com S.A.	2	93,333333	0,341334**	0,000230	0,000203	0,000007	0,135078
Erro	45	27,259200	0,060729	0,001364	0,000664	0,000236	0,083651
C.V.		5,38	4,51	9,56	12,16	8,80	17,01
Médias							
C_0 sem S.A.		97,00 ab	4,99 a	0,718 a	0,378 a	0,340 a	1,112 a
C_1 sem S.A.		100,00 b	4,97 a	0,622 b	0,320 b	0,302 b	1,063 a
C_2 sem S.A.		93,00 a	4,92 a	0,634 b	0,333 b	0,301 b	1,107 a
C_0 com S.A.		94,00 a	6,07 b	0,109 a	0,075 a	0,034 a	2,202 a
C_1 com S.A.		100,00 a	6,07 b	0,118 a	0,084 a	0,034 a	2,430 a
C_2 com S.A.		98,00 a	5,75 a	0,116 a	0,081 a	0,036 a	2,287 a

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Médias assinaladas com a mesma letra, dentro de cada grupo (com sal e sem sal), não diferem entre si, ao nível de significância de 1%, pelo Teste Duncan.

so num procedimento de seleção massal. Por outro lado, a presença de variância genética aditiva não implica necessariamente presença de efeitos genéticos aditivos (7). Essas duas situações, discutidas por FALCONER (7) e por ROBINSON *et alii* (18), requerem a presença de sobredominância. Uma estimativa do grau médio de dominância não foi possível, neste trabalho, porque a razão σ_D^2/σ_A^2 tendeu a infinito, em decorrência da variância aditiva nula.

A ausência de variância genética aditiva, a importância da variância genética de dominância e a possível importância da epistasia no controle das características utilizadas na avaliação da tolerância ao sulfato de amônio sugerem que o condicionamento genético dessa tolerância, nessa população de milho, seja dependente de uma combinação específica de genes, envolvendo heterozigose. É interessante notar que a frequência de plantas sem qualquer sintoma de toxidez, ao final de 20 dias de cultivo, em solo com alta concentração de sulfato de amônio, foi muito baixa, aproximadamente da ordem de 4,0%, na população original e nas populações selecionadas.

Observou-se um ligeiro ganho por seleção em relação à característica número de dias para a emergência. A população C₂ emergiu mais rapidamente que as outras, quando na presença de sulfato de amônio. A significância do componente σ_m^2 na análise dessa característica, no Experimento III, talvez indique a presença de variância genética aditiva, embora em quantidade baixa, não detectada nos demais experimentos.

A capacidade de germinação em soluções com elevada concentração osmótica mostrou variabilidade genética aditiva noutras populações de milho (13, 24). Por isso, não deve ser excluída a possibilidade de que a seleção praticada tenha diferenciado dois mecanismos envolvidos no processo de tolerância ao sulfato de amônio nessa população: o primeiro, que permitiu certo ganho por seleção, refere-se à capacidade de germinação da semente sob a elevada pressão osmótica da solução ambiente; o segundo, que não permitiu ganho por seleção, seria o responsável pela tolerância, principalmente após a emergência das plântulas, e parece envolver genes em heterozigose.

A significância do componente σ_m^2 na análise da característica razão parte aérea/raiz, no Experimento I, evidenciou, de certo modo, a presença de variância genética aditiva, mas não se observou modificação nessa característica em resposta à seleção praticada. Houve, ainda, uma diferença relativamente grande entre os valores de $3\sigma_{f/m}^2$ e de A, no Experimento IV. Lembrando que $\sigma_{f/m}^2$ tem, em sua esperança, apenas 1/4 da variância genética aditiva e que A inclui, em sua esperança, 1/2 da mesma variância, esta última estimativa pode ter sido mais sensível que a primeira. A discrepância entre os dois valores, nesse caso, não deve ser atribuída somente a efeitos de epistasia.

3.4. Correlações fenotípicas e genotípicas entre as características

No Quadro 9 são apresentados os coeficientes de correlação fenotípica e genotípica entre as características avaliadas nos Experimentos I, II, III e IV (15). Os valores apresentados correspondem aos coeficientes de correlação médios, com respeito aos 4 experimentos, calculados pelo método usual, citado por STEEL e TORRIE (21).

Não foram calculadas as correlações genéticas aditivas entre as características, em decorrência do valor zero, admitido para a variância genética aditiva nos experimentos.

As correlações fenotípicas e genotípicas entre os pesos de parte aérea, raiz e planta inteira foram positivas e altas, como era esperado. Essas três características mostraram correlações negativas com a razão parte aérea/raiz, indicando que,

QUADRO 9 - Coeficientes de correlação fenotípica (r_F) e genotípica (r_G) correspondentes às combinações das 6 características

Características	r	Nº de dias p/ a emergência	Peso total da planta	Peso da parte aérea	Peso da raiz	Razão parte aérea / raiz
Porcentagem de emergência	F	-0,36**	-0,07	-0,04	-0,12	0,06
	G	0,42**	-0,04	0,00	-0,10	-0,03
Nº de dias p/ a emergência	F		0,03	0,00	0,06	-0,03
	G		0,04	0,01	0,08	-0,01
Peso total da planta	F			0,97**	0,95**	-0,49**
	G			0,98**	0,97**	-0,64**
Peso da parte aérea	F				0,84**	-0,43**
	G				0,91**	-0,56**
Peso da raiz	F					-0,65**
	G					-0,78**

** Significativo ($P \leq 0,01$).

quanto mais sensível for a planta, menor será a contribuição relativa da raiz para o peso total, o que evidencia a maior sensibilidade do sistema radicular ao sal.

Foram encontradas correlações fenotípicas e genotípicas negativas entre o número de dias para a emergência e a percentagem de plantas emergidas, mas não houve correlações entre essas características e as demais.

Observando os efeitos adversos de soluções de vários fertilizantes minerais, em diferentes concentrações, e testando diversas culturas, TANAKA e FUJINUMA (22) verificaram que o alongamento da radícula é mais sensível ao efeito dos sais que a germinação. Noutro trabalho (23), esses autores mostraram que, em concentrações mais baixas, o alongamento da radícula é prejudicado principalmente pela pressão osmótica, ao passo que, nas concentrações mais altas, a causa primária de danos é atribuível aos efeitos dos íons específicos liberados pelos fertilizantes.

A velocidade de emergência na variedade 'Piranão' foi provavelmente mais relacionada com a capacidade de germinação em condições de alta pressão osmótica que propriamente com a tolerância ao efeito tóxico do íon NH_4^+ . Desse modo, as progênes que emergiram mais rapidamente apresentaram maior percentagem de plantas emergidas, mas não tiveram vantagens decorrentes desse fato, com respeito à tolerância, quando essa foi avaliada depois de 20 dias.

4. RESUMO

Foram estudados os tipos de ação gênica predominantes no condicionamento genético da tolerância à salinidade provocada por concentrações elevadas de sulfato de amônio, na variedade de milho 'Piranão'. Para esse fim, foi empregado o Delineamento I, descrito por COMSTOCK e ROBINSON, em 1952. A tolerância foi avaliada, nas plantas, após 20 dias de cultivo em vasos que continham 1800 g de solo e 6 g de sulfato de amônio, em casa-de-vegetação, com base nas seguintes características: peso da matéria seca da planta, da parte aérea e das raízes, razão entre o peso da parte aérea e das raízes, número de dias decorridos entre o plantio e a emergência e percentagem de plantas emergidas em cada parcela.

O condicionamento genético da tolerância foi atribuído, principalmente, a efeitos de dominância. Efeitos genéticos aditivos mostraram ser de alguma importância apenas com relação à velocidade de emergência das plântulas, quando na presença de altas concentrações do sal.

A emergência mais rápida das plântulas não se mostrou correlacionada com o grau de tolerância das plantas, quando avaliadas aos 20 dias de cultivo.

Dois ciclos de seleção massal aplicados à variedade 'Piranão' não resultaram em aumento da frequência de plantas tolerantes na população.

5. SUMMARY

The kinds of gene action conditioning the genetic tolerance of the maize variety 'Piranão' to the salinity due to ammonium sulphate in the soil were studied. Additive and dominance genetic variances were estimated by utilizing Design I, proposed by COMSTOCK and ROBINSON, in 1952.

The experiments were conducted in the greenhouse. Seedlings were grown in soil containing a high level of ammonium sulphate (6 g per plot of 1800 g of soil).

The salt tolerance was evaluated 20 days after planting, based on the following characters: plant, root and shoot dry weights; root/shoot ratio; and, emergence velocity and percentage.

The tolerance was attributed principally to dominance effects. Additive effects were of some importance by conditioning a more rapid germination in plants of the selected populations when grown under conditions of high salinity. However, this

character showed no correlation to tolerance in 20-days old seedlings.

Two cycles of mass selection applied to the maize variety 'Piranão' have not changed the frequency of tolerant plants in this population.

6. LITERATURA CITADA

1. ALLRED, S.E. & OHLROGGE, A.J. Principles of nutrient uptake from fertilizer bands. VI. Germination and emergence of corn as affected by ammonia and by ammonium phosphate. *Agron. J.*, 56:309-313. 1964.
2. BARKER, A.V., VOLK, R.J. & JACKSON, W.A. Root environment acidity as a regulator factor in ammonium assimilation by bean plant. *Plant Physiol.*, 41: 1193-1199. 1966.
3. BENNET, A.C. Toxic effects of aqueous ammonia, copper, zinc, lead, boron, and manganese on root growth. In: CARSON, E.W. (ed.) *The plant root and its environment*. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p. 669-683.
4. BENNET, A.C. & ADAMS, F. Concentration of NH_3 (aq) required for incipient NH_3 toxicity of seedlings. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34:259-263. 1970.
5. COMSTOCK, R.E. & ROBINSON, H.F. The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. *Biometrics*, 4:254-266. 1948.
6. COMSTOCK, R.E. & ROBINSON, H.F. Estimation of average dominance of genes. In: GOWEN, J. (ed.) *Heterosis*. Ames, Iowa, Iowa State College Press, 1952. p. 494-516.
7. FALCONER, D.S. *Introduction to quantitative genetics*. New York, The Ronald Press Co., 1960. 365 p.
8. FELIZARDO, B.C., BENSON, N.R. & CHENG, H.H. Nitrogen, salinity and acidity distribution in an irrigated orchard soil as affected by placement of nitrogen fertilizers. *Soil Sci. Soc. Proc.*, 36:803-808. 1972.
9. GALVÃO, J.D. & PATERNIANI, E. Comportamento do milho 'Piranão' (braquítico - 2) e de milhos de porte normal em diferentes níveis de nitrogênio e populações de plantas. *Experientiae*, 20:17-52. 1975.
10. GARDNER, C.O. & LONNQUIST, J.H. Statistical genetic theory and procedures useful in studying varieties and intervarietal crosses in maize. *CIMMYT Research Bulletin*, 2:7-34. 1966.
11. HUNTER, A.S. & ROSENAU, W.A. The effects of urea, biuret, and ammonia on germination and early growth of maize (*Zea mays* L.). *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 30:77-81. 1966.
12. LEVITT, J. *Responses of plants to environment stresses*. New York, Academic Press, 1972. 665 p.
13. MALIWAL, G.L.; SANGHI, A.K.; PALIWAL, K.V. & SHARMA, H.N. Germination capacity of some maize open pollinated varieties, inbreds, hybrids,

- synthetics and composites in saline substrats. *Indian J. Agric. Res.*, 9:83-86. 1975.
14. MILLAN, A.J. *Herança da velocidade de germinação e tolerância à salinidade na variedade de milho (Zea mays L.) 'Piranão'*. Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1976. 63 p. (Tese de M.S.).
 15. MODE, C.J. & ROBINSON, H.F. Pleiotropism and the genetic variance and covariance. *Biometrics*, 15:518-537. 1959.
 16. MOORE, D.P. Physiological effects of pH on roots. In: CARSON, E.W. (ed.) *The plant root and its environment*. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p. 135-151.
 17. PURITCH, G.S. & BARKER, A.V. Structure and function of tomato leaf chloroplasts during ammonium toxicity. *Plant Physiol.*, 42:1229-1238. 1967.
 18. ROBINSON, H.F., COMSTOCK, R.E. & HARVEY, P.H. Estimates of heritability and the degree of dominance in corn. *Agron. J.*, 41:353-359. 1949.
 19. SEARLE, S.R. Topics in variance component estimation. *Biometrics*, 27:1-76. 1971.
 20. SOYER, J.P., JUSTE, C., CHIGNON, R. & SOLDA, D. Sensibilité variétale du maïs à l'intoxication ammoniacale. *Comptes Rendus des Seances de l'Académie d'Agriculture de France*, 60:701-710. 1974.
 21. STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. *Principles and procedures of statistics*. New York, Mc Graw-Hill Book Co. Inc., 1960. 481 p.
 22. TANAKA, F. & FUJINUMA, Y. Adverse effect of fertilizers on plant growth. 1. Specific effect of several fertilizer salts. Natl. Inst. Agr. Sci. p. 582-587. In: *Soil Sci., Plant Nutr.*, 21:306. 1974.
 23. TANAKA, F. & FUJINUMA, Y. Adverse effect of fertilizers on plant growth. 2. Effect of osmotic pressure of fertilizer solution on elongation of radicles. Natl. Inst. Agr. Sci. p. 588-590. In: *Soil Sci. Plant Nutr.*, 21:306. 1974.
 21. WILLIAMS, T.V., SNELL, R.S. & CHESS, C.E. Inheritance of drought tolerance in sweet corn. *Crop Sci.*, 9:19-23. 1969.