

# GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS

## AValiação DE GENÓTIPOS DE TRIGO, DE DIFERENTES ORIGENS, EM RELAÇÃO À TOXICIDADE DE ALUMÍNIO<sup>(1)</sup>

JÚLIO CÉSAR MISTRO<sup>(2)</sup>; CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA CAMARGO<sup>(2,4)</sup>; ARMANDO PETTINELLI-JÚNIOR<sup>(3)</sup>

### RESUMO

Avaliaram-se, quanto à tolerância à toxicidade de alumínio, 18 linhagens de trigo introduzidas do Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo (CIMMYT), México; 18 linhagens obtidas do programa de melhoramento do Instituto Agrônomo (IAC), Campinas (SP), e as cultivares IAC-24 e IAC-289, em dois experimentos realizados em laboratório, empregando soluções nutritivas, com seis concentrações de alumínio. Nesses experimentos, utilizaram-se as cultivares BH-1146 (tolerante) e Anahuac (sensível) como controles para a tolerância. Os genótipos, exceto BH-1146 e o Anahuac, foram também avaliados em dois experimentos de campo irrigados por aspersão, na Estação Experimental de Agronomia de Tatuí, em 1999. Analisaram-se a produção de grãos, altura das plantas e o número de grãos por espiguetas (fertilidade da espiga). As linhagens selecionadas no IAC destacaram-se quanto à tolerância à toxicidade de alumínio em relação às mexicanas, o que demonstra a importância de se verificar a origem dos genótipos quando o objetivo for o cultivo em solo ácido. As linhagens tolerantes a  $10 \text{ mg.L}^{-1}$  de  $\text{Al}^{3+}$  na solução, tanto as mexicanas como as do IAC, podem ser empregadas como fonte para tolerância ao alumínio, particularmente as linhagens 11 (PVN“S”/3/BB/CNO“S”//JAR/4/ORZ/5/IAC-60) e 5 (RAC 649/IAC-120), selecionadas no IAC, que apresentaram, também, porte baixo e grande fertilidade da espiga respectivamente.

**Palavras-chave:** linhagens, cultivares, fontes genéticas, tolerância ao alumínio, características agronômicas.

### ABSTRACT

#### EVALUATION OF WHEAT GENOTYPES FROM DIFFERENT ORIGINS IN RELATION TO ALUMINUM TOXICITY

Eighteen wheat lines introduced from the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), Mexico, and eighteen wheat lines selected at the Instituto Agrônomo (IAC) from the wheat breeding program, plus the cultivars IAC-24 and IAC-289 were evaluated in relation to the tolerance to aluminum toxicity, in two experiments, using nutrient solutions with six different aluminum concentrations, in laboratory conditions. The cultivars BH-1146 (tolerant) and Anahuac (sensitive) were also used as tolerance controls. The same genotypes, except BH-1146 and Anahuac, were also evaluated in two trials carried out under sprinkler irrigation, at the Tatuí Agronomic Experimental Station, in 1999. Grain yield, plant height and the number of grain per spikelet (head fertility) were evaluated under field conditions. The IAC selected lines were superior for aluminum tolerance in relation to the CIMMYT lines, demonstrating the importance of genotype origin when the objective is to grow in acid soil. The Mexican and the IAC selected lines showing tolerance to  $10 \text{ mg.L}^{-1}$

<sup>(1)</sup> Parte da dissertação de Mestrado em Melhoramento Genético Vegetal do primeiro autor, apresentada ao Instituto Agrônomo (IAC) e no I Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, em Goiânia (GO), 2001. Trabalho realizado com auxílio financeiro da FAPESP. Recebido para publicação em 21 de março e aceito em 3 de setembro de 2001.

<sup>(2)</sup> Mestrando, com bolsa da FAPESP, junto ao Centro de Plantas Graníferas, Instituto Agrônomo (IAC), Caixa Postal 28, 13001-970 Campinas (SP).

<sup>(3)</sup> Estação Experimental de Agronomia de Tatuí, IAC, Caixa Postal 33, 18270-000 Tatuí (SP).

<sup>(4)</sup> Com Bolsa de produtividade em pesquisa do CNPq.

of  $Al^{3+}$  could be used as aluminum tolerance source, particularly the lines 11 (PVN“S”/3/BB/CNO“S”//JAR/4/ORZ/5/IAC-60) and 5 (RAC 649/IAC-120), selected at IAC, which showed not only aluminum tolerance but also short stature and high head fertility, respectively.

**Key words:** breeding lines, cultivars, genetic sources, aluminum tolerance, agronomic characteristics.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um grande importador de trigo (*Triticum aestivum* L.): o consumo anual é cerca de dez milhões de toneladas e a produção, apenas três milhões (CONAB, 2001). Para reverter essa situação, há necessidade de aumentar a produtividade e/ou expandir as áreas agrícolas, juntamente com uma política que incentive o cultivo desse cereal.

A produção de grãos é determinada por vários componentes: número de espigas por planta, número de espiguetas por espiga, número de grãos por espiga e por espiguetas e massa de grãos, e depende dos fatores de origem genética e ambiental (GRAFIUS, 1956). Não existem, provavelmente, genes específicos para a produção de grãos, mas para os componentes, cuja interação determina a produção (GRAFIUS e WIEBE, 1959).

A introdução da triticultura no cerrado, região onde predominam solos ácidos e baixas precipitações pluviais no período de cultivo do trigo, o emprego da irrigação e da adubação nitrogenada podem proporcionar maiores rendimentos. Cultivares de trigo de alto potencial produtivo, porte baixo, resistentes ao acamamento e tolerantes ao alumínio tóxico do solo são importantes nessas condições (CAMARGO et al., 2000; DORNELLES et al., 1997; ROSA et al., 1994).

PAIVA (1942) observou que os trigos brasileiros eram bem mais tolerantes ao alumínio que os estrangeiros; o melhoramento de trigo no Brasil teve como base a seleção de plantas tolerantes a solos ácidos. Posteriormente, FOY et al. (1974) concluíram que a tolerância estava associada à região de origem das cultivares.

O alumínio é constituinte das partículas de argila do solo, ocorrendo a sua migração para a fração trocável ou para a solução do solo, em solos com pH abaixo de 5,0. A calagem corrige apenas as camadas superficiais do solo e o subsolo pode permanecer ainda ácido, restringindo o crescimento das raízes das cultivares sensíveis ao alumínio somente nas camadas superficiais do solo. As plantas tornam-se mais sensíveis à seca por serem impedidas de obter água das camadas mais profundas do solo, o que afeta significativamente a produção de grãos (FOY et al., 1965; CAMARGO et al., 1998). Além disso, o alumínio interfere na absorção e movimentação do fósforo, cálcio, magnésio e molibdênio, contribuindo para a fixação de fósforo (OLMOS et al., 1976).

É muito difícil controlar o complexo mineral do solo para que determinado nível de alumínio seja reproduzido de um experimento para o outro; ademais, a toxicidade de alumínio não é o único fator limitante em solos ácidos. A seleção das plantas tolerantes ao alumínio será mais eficiente e precisa, além de mais rápida e econômica, com o emprego de soluções nutritivas (CAMARGO, 1981).

CAMARGO e OLIVEIRA (1981) mostraram uma alta correlação entre a tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo.

As linhagens mexicanas são de grande importância para os programas de melhoramento de trigo no Brasil por possuírem características agrônomicas desejáveis (alto potencial produtivo, porte baixo, palha forte, resistência ao acamamento, maior número de grãos por espiguetas), podendo ser selecionadas e recomendadas para cultivo somente em solos corrigidos ou, então, utilizadas em cruzamentos (com genótipos brasileiros) a fim de transmitirem suas características às progênes. Originárias de solo com pH alto, são muito sensíveis à acidez do solo por não terem sofrido pressão de seleção nessa condição (CAMARGO et al., 1993).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar genótipos de trigo, introduzidos do Centro Internacional de Melhoramento de Trigo e Milho (CIMMYT), México, e os obtidos dos cruzamentos entre as linhagens nacionais e as introduzidas no programa de melhoramento do Instituto Agrônomo, seguidos de seleções em diferentes gerações, quanto à tolerância à toxicidade de alumínio, produção de grãos, altura das plantas e fertilidade das espigas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos 1 e 2 foram constituídos por 18 linhagens cada um. No primeiro, estudaram-se as linhagens de trigo introduzidas do CIMMYT, México, em 1995. No segundo, as obtidas no programa de melhoramento do Instituto Agrônomo (IAC), Campinas (SP), por meio de hibridações, realizadas na maioria, em 1990, entre cultivares nacionais e linhagens mexicanas, submetidas a vários ciclos de seleção, em condições de campo e em solução nutritiva. Avaliaram-se também nos dois experimentos, as cultivares-controle IAC-24 e IAC-289 recomendadas para semeadura no Estado de São Paulo (FELICIO et al.,

1988, 1994). A genealogia dos genótipos avaliados nos dois experimentos encontra-se no quadro 1.

### 2.1. Experimento realizado em condição de laboratório

Avaliaram-se, em solução nutritiva, as plântulas dos 20 genótipos dos experimentos 1 e 2, mais outras duas cultivares-controle: BH-1146 (tolerante) e Anahuac (sensível), a fim de determinar a tolerância ao alumínio, usando-se as doses 0, 2, 4, 6, 8 e 10 mg.L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup>. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, dispostos em parcelas subdivididas: as parcelas, compostas de seis concentrações de alumínio e, as subparcelas, de genótipos de trigo. Na análise dos dados, considerou-se a média do comprimento da raiz primária central das dez plantas de cada genótipo, em 72 h de crescimento nas soluções nutritivas completas sem alumínio, que se seguiu a 48 h de crescimento nas soluções de tratamento contendo seis diferentes concentrações de alumínio, conforme CAMARGO (1981).

Visando caracterizar quimicamente o solo, foram retiradas amostras compostas, a 0-20 cm de profundidade, dos dois experimentos realizados em 1999, na Estação Experimental de Agronomia de Tatuí (SP), do Instituto Agronômico, em solo corrigido, adubado e irrigado por aspersão (Quadro 2). Em função das análises de solo e de acordo com as tabelas de adubação do IAC (RAIJ et al., 1997), aplicaram-se 330 kg.ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O), além de uma adubação de cobertura com sulfato de amônio (40 kg.ha<sup>-1</sup> de N) aos 30-40 dias após a emergência.

Iniciou-se a irrigação após a semeadura dos experimentos, em intervalos de 7 a 10 dias – quando não ocorreram chuvas –, e o término sucedeu próximo à maturação das plantas.

### 2.2. Experimento realizado em condição de campo

Cada experimento constituiu-se de 80 parcelas, área útil de 3,6 m<sup>2</sup>: cada uma delas formada por seis linhas de 3 m de comprimento, espaçadas de 0,20 m.

**Quadro 1.** Genealogia dos genótipos de trigo avaliados nos experimentos 1 e 2, em 1999

Genótipos	Experimento 1	Experimento 2
1.	CMH 8 DA.542/CNO – 79	RAC 605/IAC-227
2.	KAUZ*2/MNV//KAUZ	RAC 605/IAC-227
3.	SAWGAI	RAC 617/BH -1146
4.	KAUZ*2/MNV//KAUZ	RAC 648/IAC-120
5.	FCT/3/GOV/AZ//MUS/4/DOVE/BUC	RAC 649/IAC-120
6.	HAHN/TURACO//TURACO	RAC 653/BH -1146
7.	CHIL/BUC	PRL"S"/SNB"S"//IAC-60
8.	KAUZ*2/MYNA//KAUZ	(ISRAEL16*TC750451-2C-100R/ H*RA**2F <sub>2</sub> /INIA66**BB-S/2 F <sub>2</sub> )/IAC-120
9.	BANACORA T 88	(BB*CNO**CNO*TOTA/JAR)*2F <sub>5</sub> /2F <sub>2</sub> **CHA**2F <sub>2</sub> /B B*RN/CNO"S"*GLL**SAL)*(INIA*CNO/CAL**CNO *NOTE 66)/IAC-227
10.	OPATA M 85	(BB*CNO**CNO*TOTA/JAR)*2F <sub>5</sub> /2F <sub>2</sub> **CHA**2F <sub>2</sub> /B B*RN/CNO"S"*GLL**SAL)*(INIA*CNO/CAL**CNO *NOTE 66)/IAC-227
11.	CETTIA	PVN"S"/3/BB/CNO"S"//JAR/4/ORZ/5/IAC-60
12.	PRINIA	FCT"S"/IAC-24
13.	TURACO	VEE"S"/VEE"S"//IAC-24
14.	WH 542	(4777 <sup>2</sup> x FKN - GB/PVN "S")/IAC-24
15.	URES/JUN//KAUZ	KAUZ"S"/IAC-60
16.	KAUZ*2/ TRAP//KAUZ	IAC-5/IAC-24
17.	HAHN/2*WEAVER	IAC-60/SC 83125-1H-1H
18.	PARA 2//JUP/BJY/3/VEE/JUN/4/2*KAUZ	IAC-60/SC 83125-1H-1H
19.	IAC-24 = IAS-51/4/SON64/Y50E//GTO/2*CIANO	IAC-24 = IAS-51/ ISWRN 597-70
20.	IAC-289 = KAVKAZ/BUHO"S"//KALYASONA/BLUEBIRD	IAC-289 = KAVKAZ/BUHO"S"//KALYASONA/BLUEBIRD

**Quadro 2.** Resultados das análises compostas dos solos dos experimentos 1 e 2, instalados na Estação Experimental de Agronomia de Tatuí, irrigados por aspersão, em 1999, na profundidade de 0 a 20 cm<sup>(1)</sup>

Determinações	Tatuí
P resina (mg.kg <sup>-1</sup> )	58,0
M.O. (g.kg <sup>-1</sup> )	20,0
pH (CaCl <sub>2</sub> )	5,2
K (mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	7,6
Ca (mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	60,0
Mg (mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	13,0
H+Al (mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	34,0
S (mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	80,6
T (mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	114,6
V%	70,0

<sup>(1)</sup> Análises efetuadas no laboratório do Centro de Solos e Recursos Agroambientais do Instituto Agrônômico.

A densidade da sementeira foi de 80 sementes viáveis por metro linear, equivalendo a 1.440 sementes por parcela. Utilizou-se o delineamento estatístico de blocos ao acaso, com quatro repetições. Avaliaram-se, em cada parcela, as seguintes características agrônômicas:

Produção de grãos: pesou-se a produção total de grãos, em gramas, e o valor foi transformado em kg.ha<sup>-1</sup>.

Altura das plantas: mediu-se a distância, em centímetros, do nível do solo ao ápice da espiga, excluindo as aristas, no início da maturação das plantas.

Grãos por espiguetas (fertilidade da espiga): de cinco espigas coletadas ao acaso, dividiu-se o número total de grãos da espiga pelo número total de suas espiguetas.

As características agrônômicas descritas foram submetidas às análises da variância, em cada experimento, utilizando-se o teste F, ao nível de 5%, para detectar os efeitos significativos dos genótipos e das repetições (GOMES, 2000).

Empregou-se o teste de Tukey, ao nível de 5%, a fim de comparar as médias dos genótipos em cada um dos parâmetros avaliados nos experimentos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Experimento 1

O comprimento médio das raízes dos 20 genótipos de trigo e das cultivares-controle, medido após 72 h de crescimento em solução normal, que se seguiu a um crescimento em solução-tratamento contendo seis

diferentes concentrações de alumínio, encontra-se no quadro 3.

À medida que aumentaram as concentrações de alumínio, houve uma diminuição do crescimento radicular em todos os genótipos e cultivares de trigo avaliados em soluções nutritivas.

A cultivar-controle BH-1146, conforme esperado, apresentou crescimento das raízes (tolerância) após o tratamento com 10 mg.L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup>. Já a 'Anahuac' não mostrou crescimento radicular (sensibilidade) após o tratamento com 2 mg.L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup>.

Verificou-se que 30% e 55% dos genótipos mexicanos, nas concentrações de 2 e 4 mg.L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup> respectivamente, apresentaram sintoma típico de sensibilidade à toxicidade: paralisação irreversível do crescimento do meristema apical das raízes primárias das plântulas (MOORE et al., 1976). A alta porcentagem de paralisação do crescimento radicular ocorreu porque os genótipos mexicanos não sofreram pressão de seleção para tolerância ao alumínio no programa de melhoramento do CIMMYT, México. Nesse programa, os genótipos são selecionados em solos alcalinos de deserto, com irrigação, onde a ocorrência de alumínio trocável ou solúvel é nula.

Na concentração de 10 mg.L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup> apenas os genótipos mexicanos 1, 3, 5, 6 e 12 e as cultivares-controle IAC-24 e BH-1146 apresentaram crescimento das raízes primárias, sendo considerados tolerantes.

As médias de produção de grãos, altura das plantas e número de grãos por espiguetas das 18 linhagens de trigo de origem mexicana e das cultivares IAC-24 e IAC-289, semeadas em Tatuí, encontram-se no quadro 3.

Os genótipos 7 e 8 foram os mais produtivos (5.549 e 5.452 kg.ha<sup>-1</sup>), diferindo dos genótipos 3, 9, 14 e da cultivar IAC-24. O genótipo 7 diferiu do 10. Estes genótipos, porém, foram sensíveis à concentração de 2 mg.L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup>, nas soluções nutritivas, não apresentando crescimento radicular. O comportamento desses genótipos em solo corrigido não seria o mesmo se fossem cultivados em solos ácidos. O genótipo 5 esteve entre os mais produtivos (5.021 kg.ha<sup>-1</sup>), apresentando tolerância à toxicidade de alumínio expressa pelo crescimento radicular até 10 mg.L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup>, além de grande potencial para o cultivo em solos ácidos.

As plantas de porte mais baixo (81 cm) foram do genótipo 9 e as mais altas, do 3 (104 cm).

A maior fertilidade da espiga foi apresentada pelo genótipo 14, com média de 2,81 grãos por espiguetas, diferindo dos genótipos 1, 3, 11, 12, 13, 17 e da cultivar IAC-24. Por apresentar esta característica desejável, o genótipo 14 pode ser um material promissor para aumentar a fertilidade da espiga em cruzamentos de programas de melhoramento de trigo.

**Quadro 3.** Comprimento médio das raízes, altura das plantas e número de grãos por espiguetas dos 20 genótipos de trigo avaliados no experimento 1, instalado em Tatuí, em 1999

Genótipos	Concentração de alumínio (mg.L <sup>-1</sup> )						Produção de grãos	Altura das plantas	Grãos por espiguetas
	0	2	4	6	8	10			
	mm						kg.ha <sup>-1</sup>	cm	n.º
1.	79,4	45,7	26,7	11,2	4,7	0,6	5.014 a-d	98 ab	2,24 b-e
2.	76,4	33,5	15,4	3,8	0,8	0,0	4.528 a-d	86 d-f	2,76 ab
3.	87,7	49,0	35,3	23,4	11,2	3,7	4.319 cd	104 a	1,56 f
4.	79,7	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	5.132 a-c	91 b-e	2,58 a-d
5.	70,2	44,8	33,2	19,6	12,3	8,2	5.021 a-c	93 b-d	2,30 a-e
6.	61,8	31,7	11,9	4,5	2,4	0,8	5.132 a-c	87 c-f	2,62 a-d
7.	78,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5.549 a	90 b-e	2,36 a-e
8.	75,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5.452 ab	90 b-e	2,59 a-d
9.	72,4	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4.278 cd	81 f	2,73 a-c
10.	75,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4.410 b-d	95 bc	2,49 a-d
11.	90,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5.333 a-c	91 b-e	2,13 de
12.	93,6	55,2	37,9	16,6	8,0	3,1	5.326 a-c	91 b-e	2,11 de
13.	82,4	44,3	28,6	5,7	1,7	0,0	4.875 a-d	84 ef	2,20 c-e
14.	69,9	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	4.326 cd	86 d-f	2,81 a
15.	80,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5.160 a-c	98 ab	2,44 a-d
16.	79,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4.493 a-d	85 d-f	2,46 a-d
17.	74,9	39,1	17,2	4,5	0,0	0,0	5.222 a-c	87 c-f	1,87 ef
18.	86,4	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4.833 a-d	88 c-f	2,77 ab
IAC-24	68,7	53,1	47,8	30,8	18,7	10,7	3.903 d	93 b-d	1,84 ef
IAC-289	76,9	26,3	3,8	0,0	0,0	0,0	4.889 a-d	95 bc	2,51 a-d
BH-1146	99,4	76,1	55,7	48,9	39,6	26,2	-	-	-
Anahuac	77,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
F (Genótipos)	-	-	-	-	-	-	4,65*	10,93*	10,87*
d.m.s. (Tukey 5%)	-	-	-	-	-	-	1.113	9	0,54
C.V. %	-	-	-	-	-	-	8,72	3,66	8,74

Médias seguidas de uma letra em comum não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5%. \*: Significativo ao nível de 5%.

### 3.2. Experimento 2

O comprimento médio das raízes dos 20 genótipos de trigo e das cultivares-controle, medido após 72 h de crescimento em solução normal, que se seguiu a um crescimento em solução-tratamento contendo seis diferentes concentrações de alumínio, encontra-se no quadro 4.

Verificou-se a diminuição do crescimento das raízes primárias centrais de todos os genótipos à medida que aumentaram as concentrações de alumínio.

Todos os genótipos, quando submetidos às baixas concentrações de alumínio, 2 e 4 mg.L<sup>-1</sup>, apresentaram crescimento radicular. Na concentração de 4 mg.L<sup>-1</sup>

de Al<sup>3+</sup> o comprimento médio das raízes variou de 4,8 a 56,3 mm, demonstrando, assim, maior tolerância ao alumínio dos genótipos testados no experimento 2 em relação aos do experimento 1, que apresentaram 55% das linhagens mexicanas sensíveis à concentração de alumínio.

Os genótipos mexicanos apresentaram crescimento radicular médio de 11,5 mm na concentração de 4 mg.L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup> e os desenvolvidos no IAC, crescimento médio de 38,9 mm na mesma concentração: aproximadamente, três vezes maior que o dos genótipos mexicanos.

**Quadro 4.** Comprimento médio das raízes, altura das plantas e número de grãos por espiguetas dos 20 genótipos de trigo avaliados no experimento 2, instalado em Tatuí, em 1999

Genótipos	Concentração de alumínio (mg.L <sup>-1</sup> )						Produção de grãos	Altura das plantas	Grãos por espiguetas
	0	2	4	6	8	10			
	mm						kg.ha <sup>-1</sup>	cm	n.º
1.	70,7	52,1	42,9	37,0	28,6	19,6	4.500 a-c	90 a-e	1,88 f
2.	75,0	52,4	43,8	26,9	11,4	7,7	4.590 a-c	91 a-d	1,99 ef
3.	84,3	52,6	41,9	29,7	12,1	2,5	3.757 bc	93 a-d	2,58 b-d
4.	85,1	62,6	56,3	49,0	34,4	28,1	4.271 a-c	76 f	2,04 d-f
5.	64,9	49,4	43,8	38,1	26,8	20,0	4.945 a-c	79 ef	3,28 a
6.	82,9	59,1	43,5	24,3	12,8	6,5	4.424 a-c	85 d-f	2,49 b-e
7.	70,2	38,0	24,2	12,5	7,6	2,5	3.472 c	89 b-e	1,80 f
8.	71,2	14,2	4,8	0,9	0,0	0,0	4.965 a-c	88 b-e	2,55 b-d
9.	77,5	55,1	42,0	37,5	25,3	21,6	5.528 a	86 c-f	2,72 bc
10.	77,5	47,3	41,0	29,6	16,7	6,6	4.944 a-c	92 a-d	2,81 a-c
11.	67,1	40,8	28,0	19,8	6,0	2,4	4.028 a-c	57 g	2,27 c-f
12.	69,4	52,7	48,5	42,8	33,7	25,8	3.820 bc	90 a-e	1,88 f
13.	83,8	65,3	52,4	43,1	27,0	21,1	4.139 a-c	93 a-d	1,74 f
14.	72,8	48,9	38,1	33,3	26,5	20,6	4.903 a-c	97 a-c	3,01 ab
15.	80,4	54,1	32,9	18,7	9,5	6,5	5.167 ab	97 a-c	2,11 d-f
16.	79,7	57,7	49,7	44,1	35,9	23,5	4.889 a-c	99 ab	1,83 f
17.	69,7	46,3	35,4	24,6	15,5	8,5	5.076 a-c	96 a-d	2,03 d-f
18.	71,8	37,5	30,7	20,8	15,3	9,9	4.778 a-c	101 a	1,81 f
IAC-24	66,5	52,4	45,9	36,3	25,1	17,7	4.313 a-c	93 a-d	1,93 f
IAC-289	76,7	30,8	3,1	0,0	0,0	0,0	4.403 a-c	92 a-d	2,52 b-e
BH-1146	98,0	73,6	63,3	51,3	44,2	30,4	-	-	-
Anahuac	71,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
F (Genótipos)	-	-	-	-	-	-	2,87*	18,50*	17,94*
d.m.s. (Tukey 5%)	-	-	-	-	-	-	1640	12	0,56
C.V. %	-	-	-	-	-	-	13,75	5,11	9,45

Médias seguidas de uma letra em comum não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5%. \*: Significativo ao nível de 5%.

Apenas o genótipo 8 foi sensível à concentração de 8 mg.L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup>; houve a paralisação do crescimento do meristema apical das raízes primárias centrais das plântulas. Os demais genótipos apresentaram crescimentos radiculares que variaram de 2,4 mm (genótipo 11) a 28,1 mm (genótipo 4), na concentração de 10 mg.L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup>, com média de comprimento de raiz igual a 13,0 mm, enquanto os genótipos mexicanos, apenas 0,9 mm.

Os genótipos do IAC, além de se mostrarem aptos ao cultivo em solos ácidos devido à tolerância ao alumínio, são, portanto, mais tolerantes ao estresse hídrico. Ao desenvolver sistema radicular mais pro-

fundo, exploram água e nutrientes do subsolo com elevados teores de alumínio, contribuindo, assim, para o bom desenvolvimento das plantas. Os resultados obtidos foram os mesmos de Foy et al. (1974); esses autores afirmaram que a tolerância estava associada à região de origem das cultivares.

As médias de produção de grãos, altura das plantas e número de grãos por espiguetas das 18 linhagens de trigo selecionadas no IAC e das cultivares IAC-24 e IAC-289, semeadas no experimento de campo, encontram-se no quadro 4.

O genótipo 9 foi o mais produtivo (5.528 kg.ha<sup>-1</sup>), diferindo apenas dos genótipos 3, 7 e 12.



Todos os genótipos do experimento 2 apresentaram porte de planta semi-anão (76 a 101 cm), com exceção do 11, que exibiu plantas mais baixas (57 cm), diferindo significativamente dos demais.

A maior fertilidade de espiga (3,28 grãos por espiguetas) foi observada no genótipo 5, não diferindo dos genótipos 10 e 14. Por essa razão, o genótipo 5 pode ser considerado fonte genética para esta característica em cruzamentos.

Os dados dos experimentos 1 e 2 (Quadros 3 e 4) revelam que a produção de grãos, a altura das plantas, a fertilidade da espiga e a tolerância à toxicidade de alumínio são independentes.

#### 4. CONCLUSÕES

1. Os genótipos selecionados no IAC destacaram-se quanto à tolerância à toxicidade de alumínio em relação aos introduzidos do Centro Internacional de Melhoria de Milho e Trigo (CIMMYT), México, o que demonstra a importância da origem dos genótipos quando se tem por objetivo o cultivo em solo ácido.

2. Os genótipos tolerantes ao alumínio podem ser empregados como fontes genéticas nos programas de melhoramento em que se deseje esta característica, visando ao desenvolvimento de cultivares mais produtivas em solos ácidos, em relação às cultivares sensíveis que não têm possibilidades de sucesso nessas condições.

3. Os genótipos 11 e 5, selecionados no IAC, além da tolerância ao alumínio, mostraram porte baixo e alta fertilidade da espiga, respectivamente, sendo fontes genéticas dessas características em programas de melhoramento genético de trigo.

#### AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão de bolsa de mestrado para a realização deste trabalho, e aos pesquisadores científicos Antônio Wilson Penteado Ferreira Filho e Maria Elisa A.G. Zagatto Paterniani, do IAC, pelas sugestões apresentadas.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMARGO, C.E. de O. Melmento de trigo. I. Hereditabilidade da tolerância à toxicidade do alumínio. *Bragantia*, Campinas, v.40, n.4, p.33-45, 1981.
- CAMARGO, C.E. de O.; FELICIO, J.C.; FERREIRA FILHO, A.W.P.; PETTINELLI-JÚNIOR A.; GALLO, P.B. Melhoramento do trigo: *comportamento de genótipos mexicanos em condição de irrigação por aspersão no Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. 23p. (Boletim científico, 26)
- CAMARGO, C.E. de O.; FERREIRA-FILHO, A.W.P.; FELICIO, J.C. Estimativas de herdabilidade e correlações quanto à produção de grãos e outras características agrônômicas em populações de trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n.2, p.369-379, 2000.
- CAMARGO, C.E. de O.; FERREIRA-FILHO, A.W.P.; FREITAS, J.G. Avaliação de genótipos de centeio, triticale e trigo comum e trigo duro quanto à tolerância ao alumínio em solução nutritiva. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.55, n.2, p.227-232, 1998.
- CAMARGO, C.E. de O.; FREITAS, J.G. de; CANTARELLA, H. Trigo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; CANGIANI, A.M.C. (Eds.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. rev. atual. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. p.8-71. (Boletim Técnico, 100)
- CAMARGO, C.E. de O.; OLIVEIRA, O.F. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. *Bragantia*, Campinas, v.40, n.3, p.21-31, 1981.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). *Produção brasileira de grãos*. Disponível na internet: [www.agricultura.gov.br](http://www.agricultura.gov.br), 15/3/2001.
- DORNELLES, A.L.C.; CARVALHO, F.I.F.; FEDERIZZI, L.C.; SERENO, M.J.C.M.; AMARAL, A.; MITTELMAN, A. Avaliação simultânea para tolerância ao alumínio e sensibilidade ao ácido giberélico em trigo hexaplóide. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.32, n.9, p.893-896, 1997.
- FELICIO, J.C.; CAMARGO, C.E. de O.; FERREIRA-FILHO, A.W.P.; FREITAS, J.G.; BARROS, B.C.; VITTI, P. Tocantins (IAC-23) e Tucuruí (IAC-24). Novos cultivares de trigo. *Bragantia*, Campinas, v.47, n.1, p.93-107, 1988.
- FELICIO, J.C.; CAMARGO, C.E. de O.; VITTI, P.; CAMPAGNOLLI, D.M.F. Comportamento agrônomo e avaliação tecnológica dos cultivares de trigo IAC-120 (Curumi), IAC-286 (Takaoka) e IAC-289 (Maruá) para o Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v.53, n.2, p.191-208, 1994.
- FOY, C.D.; BURNS, G.R.; BROWN, J.C.; FLEMING, A.L. Differential aluminum tolerance of two varieties associated with plant-induced pH changes around their roots. *Soil Science Society Proceedings*, Beltsville, v.29, n.1, p.64-67, 1965.
- FOY, C.D.; LAFEVER, H.N.; SCHWARTZ, J.W.; FLEMING, A.L. Aluminum tolerance of wheat cultivars related to region of origin. *Agronomy Journal*, Madison, v.66, p.751-758, 1974.
- GOMES, F.P. *Curso de estatística experimental*. 14.ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 2000. 477p.
- GRAFIUS, J.E. Components of yield in oats. *Agronomy Journal*, Madison, v.48, p.419-423, 1956.

- GRAFIUS, J.E.; WIEBE, G.A. Expected genetic gain in yield in small grain: geometrical interpretation. *Agronomy Journal*, Madison, v.51, p.560-562, 1959.
- MOORE, D.P.; KRONSTAD, W.E.; METZGER, R.J. *Screening wheat for aluminum tolerance*. In: Workshop on plant adaptations to mineral stress in problem soils, 1976, Beltsville. *Proceedings*. Ithaca: Cornell University. 1976, p.287-295.
- OLMOS, I.R.; CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. *Ciência e Cultura*, Rio de Janeiro, v.28, n.2, p.171-180, 1976.
- PAIVA, B.O. Notas sobre fisiologia e seleção de trigo. *Revista Agrônômica*, Porto Alegre, v.6, p.535-536, 1942.
- ROSA, O.S.; CAMARGO, C.E. de O.; RAJARAM, S.; ZANNATTA, A.C.A. Produtividade de trigo *Triticum aestivum* (L.) thell. com tolerância ao alumínio tóxico no solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.29, n.3, p.411-417, 1994.