

II. GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS

LINHAGENS DIAPLÓIDES DE TRIGO: PRODUÇÃO DE GRÃOS, CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E TOLERÂNCIA À TOXICIDADE DE ALUMÍNIO ⁽¹⁾

CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA CAMARGO^(2,7), LUIS CARLOS DA SILVA RAMOS⁽³⁾, ANTONIO WILSON PENTEADO FERREIRA FILHO⁽²⁾, JOÃO CARLOS FELICIO⁽²⁾, ARMANDO PETTINELLI JÚNIOR⁽⁴⁾, JAIRO LOPES DE CASTRO⁽⁵⁾ & ÉRICA YUMI YOKOO⁽⁶⁾

RESUMO

Compararam-se 18 linhagens de trigo diaplóides obtidas via cultura de anteras de plantas híbridas, em geração F₁, e os cultivares Al Res 102/84 e IAC-24, em quatro ensaios instalados em condições de irrigação por aspersão e de sequeiro. Analisaram-se a produção de grãos, outros componentes da produção, características agronômicas e resistência à ferrugem-da-folha. Estudou-se também a tolerância ao alumínio em soluções nutritivas, em condição de laboratório. A linhagem diaplóide 5, provinda do cruzamento IAS-63/ALDAN "S"/GLEN/3/IAC-24, de porte baixo, mostrou resistência ao acamamento e ao agente causal da ferrugem-da-folha e tolerância à toxicidade de alumínio, destacando-se, ainda, quanto à produção de grãos. A linhagem 6 identificou-se como fonte genética de maior número de grãos por espigeta, porte baixo, resistência ao acamamento e à ferrugem-da-folha, e a linhagem 8 apresentou espigas mais compridas e maior número de espigetas por espiga. Todos

⁽¹⁾ Com verbas suplementares do CNPq e do Acordo do Trigo entre as Cooperativas Rurais do Vale do Paranapanema e a Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, por meio do Instituto Agronômico. Recebido para publicação em 6 de abril de 1998 e aceito em 30 de setembro de 1999.

⁽²⁾ Centro de Plantas Graníferas, Instituto Agronômico (IAC), Caixa Postal 28, 13001-970 Campinas (SP).

⁽³⁾ Centro de Genética, Biologia Molecular e Fitoquímica, IAC.

⁽⁴⁾ Estação Experimental de Agronomia de Tatuí, IAC.

⁽⁵⁾ Núcleo de Agronomia do Sudoeste, IAC.

⁽⁶⁾ Centro de Genética, Biologia Molecular e Fitoquímica, IAC. Pesquisadora do RHAÉ-CNPq.

⁽⁷⁾ Com bolsa de produtividade em pesquisa do CNPq.

os genótipos avaliados, com exceção do cultivar IAC-287 (controle sensível) exibiram elevada tolerância à toxicidade de alumínio.

Termos de indexação: trigo, *Triticum aestivum* L., linhagens diaplóides, cultura de anteras, produção de grãos, características agrônômicas, tolerância à toxicidade de alumínio.

ABSTRACT

DIHAPLOID WHEAT LINES: GRAIN YIELD, AGRONOMIC CHARACTERISTICS AND TOLERANCE TO ALUMINUM TOXICITY

Eighteen dihaploid wheat lines originated via anther culture from F_1 hybrid plants and control cultivars Al Res 102/84 and IAC-24 were evaluated for grain yield, yield components, agronomic characteristics and resistance to leaf rust, in four field trials performed under upland and sprinkler irrigation conditions. The genotypes were evaluated for their tolerance to Al toxicity, in nutrient solutions, in laboratory conditions. The dihaploid line 5, originated from the cross IAS 63/ALDAN "S"//GLEN/3/IAC-24, exhibited dwarf plant type, lodging and leaf rust resistance and tolerance to Al toxicity allied to high productivity. Line 6 was considered a good genetic source for large number of grains per spikelet, dwarf plant type, resistance to lodging and leaf rust, whereas line 8, for long spikes and large number of spikelets per spike. All of them were tolerant to aluminum toxicity except IAC-287 (sensitive control).

Index terms: wheat, *Triticum aestivum* L., dihaploid line, anther culture, grain yield, agronomic characteristics, tolerance to aluminum toxicity.

1. INTRODUÇÃO

O programa de melhoramento de trigo do Instituto Agrônômico tem procurado desenvolver cultivares de porte semi-anão, de alto potencial produtivo e com tolerância à toxicidade de Al^{3+} , mediante cruzamentos entre cultivares nacionais adaptados às condições de solo ácido e cultivares semi-anões de origem mexicana (Camargo, 1993, e Camargo et al., 1996). Os cultivares IAC-24, IAC-25, IAC-227, IAC-60 e, mais recentemente, IAC-120, foram lançados por apresentar tais características (Camargo et al., 1996, e Felicio et al., 1988, 1991, 1994).

Cultivares de origem mexicana, selecionados em solos com pH próximo à neutralidade, foram recomendados aos agricultores paulistas, a partir de 1970 (Camargo, 1972, 1993, Camargo et al., 1974, 1996, e Felicio et al., 1976, 1991, 1994), pelo alto

potencial produtivo, aliado ao porte baixo, à resistência ao acamamento e às ferrugens, somente para solos com acidez corrigida, pela sua elevada sensibilidade ao Al^{3+} , presente no solo. Mesmo em solos corrigidos, em anos secos, quando há necessidade de o sistema radicular das plantas aprofundar-se no solo em busca de água, os cultivares mexicanos não têm mostrado bom comportamento, pois apresentam restrição do crescimento das raízes no subsolo, pela presença do Al^{3+} (Camargo et al., 1995a, Camargo & Oliveira, 1981).

O programa convencional de melhoramento do trigo demanda muitos anos de um trabalho intenso em condições de campo, onde são selecionadas plantas de populações segregantes objetivando atingir uniformidade genética. Por outro lado, é possível reduzir substancialmente o tempo despendido no melhoramento, usando-se a técnica do cultivo de anteras *in*

vitro. Essa técnica permite a obtenção de plantas haplóides, que podem tornar-se férteis por tratamento com colchicina. As plantas assim produzidas atingem 100% de homozigose, sendo convencionalmente chamadas de diaplóides (DH). Essa técnica é valiosa nos programas de melhoramento, considerando que a homozigose para a seleção agrônômica pode ser obtida em uma geração apenas (Moraes-Fernandes & Picard, 1983; Moraes-Fernandes, 1987; Picard et al., 1994, e Grandó & Moraes-Fernandes, 1997). Outra vantagem da técnica do cultivo de anteras é a possibilidade de obter tipos recombinantes, os quais dificilmente seriam obtidos pelo processo tradicional, em face da segregação dos genes nas gerações de seleção. Da mesma forma, algumas plantas diaplóides podem conservar parte da heterose dos híbridos F_1 , com reflexos positivos na produtividade da linhagem.

Levando em conta as vantagens da técnica do cultivo de anteras incorporou-se, recentemente o processo do cultivo de anteras provenientes de plantas híbridas F_1 ao programa de melhoramento do trigo do Instituto Agrônômico. Após a adaptação da técnica (Ramos et al., 1994), as primeiras linhagens DH foram obtidas e avaliadas em experimentos em condições de campo, com resultados promissores, segundo Ramos et al.⁽⁸⁾. A técnica foi estendida a outros cruzamentos, especialmente quando pelo menos uma das linhagens parentais mostrava alta capacidade androgenética.

Este trabalho tem por objetivo avaliar genótipos diaplóides provenientes de hibridações entre linhagens oriundas do Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo (CIMMYT), México, e o 'IAC-24', em comparação com os cultivares Al Res 102/84 e IAC-24, em dois locais paulistas, quanto à produção de grãos, características agrônômicas, resistência à ferrugem-da-folha e tolerância à toxicidade de alumínio.

⁽⁸⁾ RAMOS, L.C. da S.; CAMARGO, C. E. de O.; FERREIRA FILHO, A.W.P.; YOKOO, E.Y.; CASTRO, J.L. de; PETTINELLI JÚNIOR, A. & SILVA, M.R. da. Avaliação de linhagens diaplóides de trigo obtidas via cultura de anteras. *Scientia Agricola*, Piracicaba (no prelo).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Instalaram-se quatro ensaios, em 1994-96, três em condição de irrigação por aspersão, na Estação Experimental de Tatuí, e um em condição de sequeiro, na Estação Experimental de Capão Bonito. Testaram-se 20 genótipos de trigo, sendo 18 linhagens diaplóides (LDHs) obtidas via cultura de anteras *in vitro*, conforme Ramos et al. (1994), e 2 controles (Quadro 1). As 18 LDHs foram remanescentes das linhas haplóides obtidas em 1989, sendo a maioria descartada em função de observações experimentais anteriores.

Nos experimentos de campo, usou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições por local. Todo ensaio se constituiu de 80 parcelas, cada uma delas formada por seis linhas de 3 m de comprimento, espaçadas de 0,20 m e separadas, lateralmente, por 0,60 m. A semeadura foi feita à base de 80 sementes viáveis por metro linear de sulco, equivalendo a 1.440 sementes por parcela, com uma área útil de colheita de 3,6 m².

A fertilidade dos solos dos locais estudados foi pré-avaliada, coletando-se amostras compostas nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. Ambos os solos eram ácidos, sendo o da região de Capão Bonito mais pobre em nutrientes, conforme resultados das análises - Quadro 2.

Coletaram-se os seguintes dados nos experimentos: presença de ferrugem-da-folha (*Puccinia recondita*); ciclo da emergência ao florescimento; ocorrência de acamamento; altura das plantas e produção de grãos. Para determinação do comprimento das espigas, do número de espiguetas por espiga; do número de grãos por espiga e por espiguetas e da massa de cem grãos, colheram-se dez espigas de cada parcela. A avaliação dessas características foi efetuada conforme Schramm et al. (1974) e Camargo et al. (1989, 1991, 1995b). As características ferrugem-da-folha; comprimento da espiga; número de espiguetas por espiga; número de grãos por espiga e por espiguetas, e massa de cem grãos foram analisadas apenas no ensaio de Tatuí em 1994. A altura

Quadro 1. Cruzamentos e origem dos genótipos de trigo avaliados nos experimentos instalados em condições de campo e laboratório

| Linhagens e Cultivares | Origem | Cruzamentos |
|------------------------|------------------|---------------------------------|
| 1 | 605/89-8-3-1-39 | IAS-63/ALDAN "S"//GLEN/3/IAC-24 |
| 2 | 602/89-6-4-1-26 | HAHN "S" *2/PRL "S"//IAC-24 |
| 3 | 605/89-12-1-1-1 | IAS-63/ALDAN "S"//GLEN/3/IAC-24 |
| 4 | 605/89-13-1-1-44 | IAS-63/ALDAN "S"//GLEN/3/IAC-24 |
| 5 | 605/89-13-1-1-51 | IAS-63/ALDAN "S"//GLEN/3/IAC-24 |
| 6 | 605/89-8-3-1-42 | IAS-63/ALDAN "S"//GLEN/3/IAC-24 |
| 7 | 605/89-12-1-2-35 | IAS-63/ALDAN "S"//GLEN/3/IAC-24 |
| 8 | 605/89-12-1-2-40 | IAS-63/ALDAN "S"//GLEN/3/IAC-24 |
| 9 | 605/89-12-1-2-62 | IAS-63/ALDAN "S"//GLEN/3/IAC-24 |
| 10 | 605/89-12-1-2-64 | IAS-63/ALDAN "S"//GLEN/3/IAC-24 |
| 11 | 605/89-12-1-2-68 | IAS-63/ALDAN "S"//GLEN/3/IAC-24 |
| 12 | 605/89-12-1-3-5 | IAS-63/ALDAN "S"//GLEN/3/IAC-24 |
| 13 | 605/89-12-1-3-6 | IAS-63/ALDAN "S"//GLEN/3/IAC-24 |
| 14 | 605/89-12-1-3-7 | IAS-63/ALDAN "S"//GLEN/3/IAC-24 |
| 15 | 605/89-12-2-1-5 | IAS-63/ALDAN "S"//GLEN/3/IAC-24 |
| 16 | 605/89-12-2-1-54 | IAS-63/ALDAN "S"//GLEN/3/IAC-24 |
| 17 | 605/89-12-3-2-2 | IAS-63/ALDAN "S"//GLEN/3/IAC-24 |
| 18 | 605/89-12-3-2-4 | IAS-63/ALDAN "S"//GLEN/3/IAC-24 |
| Al Res 102/84.... | | Alondra 2/ CMH 77 A. 917 |
| IAC-24 | | IAS-51/IRN 597-70 |

Quadro 2. Resultados das análises compostas dos solos dos locais dos ensaios, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm ⁽¹⁾

| Determinações | Tatuí | | | Capão Bonito | | |
|--|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|
| | 0-20 | 20-40 | 40-60 | 0-20 | 20-40 | 40-60 |
| P resina (mg.kg ⁻¹) | 64 | 29 | 7 | 19 | 16 | 14 |
| M.O. (g.kg ⁻¹) | 25 | 23 | 19 | 23 | 25 | 22 |
| pH (CaCl ₂) | 5,3 | 4,7 | 4,1 | 4,7 | 4,7 | 4,7 |
| K ⁺ (mmol _c .dm ⁻³) | 6,0 | 3,8 | 2,5 | 1,3 | 1,1 | 0,9 |
| Ca ²⁺ (mmol _c .dm ⁻³) | 60 | 41 | 21 | 18 | 17 | 17 |
| Mg ²⁺ (mmol _c .dm ⁻³) | 15 | 13 | 9 | 7 | 7 | 7 |
| H ⁺ + Al ³⁺ (mmol _c .dm ⁻³) . | 34 | 52 | 99 | 65 | 65 | 65 |
| S (mmol _c .dm ⁻³) | 81 | 58 | 33 | 26 | 25 | 25 |
| T (mmol _c .dm ⁻³) | 115 | 110 | 132 | 91 | 90 | 90 |
| V% | 70 | 53 | 25 | 29 | 28 | 28 |

⁽¹⁾ Análises efetuadas no laboratório do Centro de Solos e Recursos Agroambientais, Instituto Agrônomico.

das plantas foi avaliada nos ensaios de 1994 a 1996. Já no de Capão Bonito, calculou-se o ciclo da emergência ao florescimento em 1995.

Os dados seguintes: produção de grãos, ciclo da emergência ao florescimento, comprimento da espiga; número de espiguetas por espiga; número de grãos por espiga e por espiguetas, e massa de cem grãos de cada experimento foram inicialmente submetidos às análises individuais da variância. Efetuou-se, posteriormente, a análise conjunta da variância para produção de grãos nos experimentos de Tatuí, de 1994 a 1996, visando avaliar a ocorrência da interação dos genótipos com os anos. Efetuou-se, também, a análise conjunta da variância para a altura das plantas com base na média de toda parcela de cada um dos experimentos. Para a comparação das médias dos genótipos, usou-se o teste de Tukey ao nível de 5%.

As plântulas dos 20 genótipos e dos cultivares-controles IAC-227 (tolerante) e IAC-287 (sensível) foram testadas para a tolerância ao alumínio, em condição de laboratório, nas doses de 0, 2, 4 e 8 mg.L⁻¹ de Al³⁺, em soluções nutritivas. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com arranjo em parcelas subdivididas: as parcelas, compostas por quatro concentrações de alumínio e, as subparcelas, pelos genótipos de trigo. Realizaram-se duas repetições para cada solução-tratamento. Na análise dos dados, considerou-se a média de comprimento da raiz primária central das dez plantas de cada genótipo, em 72 horas de crescimento nas soluções nutritivas completas sem alumínio, que se seguiu a 48 horas de crescimento nas soluções de tratamento contendo quatro diferentes concentrações de alumínio, conforme Camargo (1984) e Moore et al. (1976).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os quadrados médios das análises da variância individual (Quadro 3) das produções de grãos dos genótipos (linhagens diaplóides e cultivares) de trigo estudados nos ensaios de Tatuí em 1994, 1995 e 1996, e em Capão Bonito, 1995, mostraram efeitos signifi-

cativos para genótipos, com exceção do de Tatuí (1994), e para repetições somente nos ensaios de Tatuí (1996) e Capão Bonito (1995). Já os quadrados médios da análise da variância conjunta das produções médias dos genótipos dos ensaios em condição de irrigação por aspersão, em Tatuí, mostraram efeitos significativos para experimentos (anos) e interação genótipos com experimentos, porém os efeitos de genótipos não foram significativos. Como se pode ver nas análises dos dados de produtividade (Quadro 3), houve um grande efeito do ano de cultivo, sendo que as produtividades médias de 1994, 1995 e 1996, em Tatuí, foram de 3.452, 2.871 e 4.343 kg.ha⁻¹ respectivamente.

Na comparação das médias de produção de grãos dos genótipos dos ensaios de Tatuí - Quadro 3 - verificou-se que não ocorreram diferenças significativas em 1994; em 1995, a linhagem 1 foi a mais produtiva (3.639 kg.ha⁻¹), não diferindo, porém, das linhagens 5, 6, 7, 10, 11, 12 e 13. Em 1996, a linhagem 10 exibiu a maior produção de grãos (4.930 kg.ha⁻¹), diferindo, porém, só do cultivar-controle Al Res 102/84, o menos produtivo (3.827 kg.ha⁻¹). Considerando a média dos três experimentos de Tatuí, as linhagens 1, 5, 9 e 10 produziram 3.852, 3.831, 3.771 e 3.743 kg.ha⁻¹ respectivamente, enquanto os cultivares-controles Al Res 102/84 e IAC-24 produziram 3.276 e 3.625 kg.ha⁻¹ respectivamente. Contudo, não se verificaram diferenças significativas entre os tratamentos, pelo teste de Tukey, por não terem sido observados efeitos significativos para genótipos (teste F) na análise da variância conjunta, em vista da significativa interação genótipos x experimentos.

No ensaio em condição de sequeiro de Capão Bonito (1995), as linhagens diaplóides 5, 7, 11, 12, 13 e 14 mostraram as maiores produções de grãos (2.209, 2.181, 2.188, 2.174, 2.146 e 2.195 kg.ha⁻¹ respectivamente), diferindo somente da linhagem 2, a menos produtiva (1.375 kg.ha⁻¹).

A ordem de produtividade das linhagens em Tatuí mudou de 1994 para 1995, como indicou a correlação negativa de -0,63 (P < 0,01), mas não as correlações entre os outros anos (0,19-0,20 ns). No ano desfavorável de 1995, as LDHs 1, 5 e 6 ocuparam os primeiros

lugares entre as 18 estudadas. Todavia, no ano favorável de 1996, as LDHs 1, 5 e 6 ocuparam o 5.º, 4.º e 15.º lugar respectivamente. Assim, poder-se-ia considerar que as LDHs 1 e 5 foram mais estáveis nos dois anos com relação à produção. A LDH 5 foi, ainda, a mais produtiva também em Capão Bonito, podendo ser

considerada como a de maior potencial produtivo nas diferentes condições.

Em Tatuí (1995) as LDHs 1, 5 e 6 foram 40,5%, 37,6% e 35,9 % mais produtivas que o controle comercial e genitor, o cultivar IAC-24. Esses valores indicam

Quadro 3. Produção média ⁽¹⁾ de grãos dos genótipos de trigo nos ensaios de Tatuí (1994-96) e Capão Bonito (1995)

| Linhagens e Cultivares | Tatuí | | | | Capão Bonito |
|---------------------------|-------|-----------|----------|---------|--------------|
| | 1994 | 1995 | 1996 | 1994/96 | 1995 |
| | kg/ha | | | | |
| 1 | 3.389 | 3.639 a | 4.528 ab | 3.852 | 1.854 ab |
| 2 | 3.542 | 2.729 c | 4.299 ab | 3.523 | 1.375 b |
| 3 | 3.417 | 2.701 c | 4.500 ab | 3.540 | 1.729 ab |
| 4 | 3.500 | 2.847 bc | 4.493 ab | 3.614 | 1.820 ab |
| 5 | 3.313 | 3.563 ab | 4.618 ab | 3.831 | 2.209 a |
| 6 | 3.202 | 3.521 ab | 4.167 ab | 3.630 | 1.855 ab |
| 7 | 3.410 | 3.049 a-c | 4.104 ab | 3.521 | 2.181 a |
| 8 | 3.341 | 2.847 bc | 4.431 ab | 3.540 | 1.854 ab |
| 9 | 3.695 | 2.736 c | 4.881 ab | 3.771 | 1.458 ab |
| 10 | 3.355 | 2.945 a-c | 4.930 a | 3.743 | 2.125 ab |
| 11 | 3.376 | 2.966 a-c | 4.202 ab | 3.514 | 2.188 a |
| 12 | 3.528 | 2.896 a-c | 4.236 ab | 3.553 | 2.174 a |
| 13 | 3.452 | 2.965 a-c | 4.118 ab | 3.512 | 2.146 a |
| 14 | 3.460 | 2.750 c | 4.090 ab | 3.434 | 2.195 a |
| 15 | 3.480 | 2.333 c | 4.203 ab | 3.404 | 1.903 ab |
| 16 | 3.521 | 2.604 c | 3.945 ab | 3.357 | 1.993 ab |
| 17 | 3.646 | 2.458 c | 4.215 ab | 3.440 | 1.917 ab |
| 18 | 3.515 | 2.584 c | 4.188 ab | 3.429 | 1.889 ab |
| Al Res 102/84..... | 3.299 | 2.702 c | 3.827 b | 3.276 | 1.771 ab |
| IAC-24 | 3.598 | 2.590 c | 4.688 ab | 3.625 | 1.896 ab |
| Médias | 3.452 | 2.871 | 4.343 | 3.555 | 1.926 |
| F (Experimentos) ... | — | — | — | 143,76* | — |
| F (Repetições) | 0,43 | 0,77 | 5,67* | — | 73,10* |
| F (Genótipos) | 0,50 | 6,03* | 2,00* | 0,93 | 2,61* |
| F (G x E) | — | — | — | 2,24* | — |
| dms. (Tukey 5%).... | 910 | 753 | 1.089 | 859 | 766 |
| CV % | 10,02 | 9,98 | 9,53 | 10,38 | 15,44 |

⁽¹⁾ Médias seguidas de uma letra em comum não diferem pelo teste de Tukey. *: Significativo ao nível de 5%.

um ganho substancial de produtividade naquelas condições: esse ganho pode ser parcialmente explicado pelo efeito heterótico da geração F_1 retido em F_2 , ao se usar a técnica do cultivo de anteras *in vitro*, oriundas de plantas F_1 . O fenômeno da heterose em trigo já é conhecido na literatura, tendo sido descrito por Camargo et al.

(1992). Todavia, esse ganho não foi observado no ano favorável de 1996, uma vez que todas as linhagens avaliadas não diferiram do cultivar-controle IAC-24.

Os graus médios de infecção de ferrugem-da-folha, no ensaio de Tatuí (1994), encontram-se no Quadro 4. Destacaram-se quanto à resistência, em

Quadro 4. Médias de grau de infecção de ferrugem-da-folha⁽¹⁾, da altura média das plantas⁽²⁾, porcentagem média de acamamento⁽²⁾ e ciclo da emergência ao florescimento⁽³⁾ dos genótipos de trigo nos ensaios de Tatuí e Capão Bonito

| Linhagens e Cultivares | Ferrugem-da-folha | Altura das plantas | Acamamento | Ciclo emerg.-flor. |
|------------------------|-------------------|--------------------|------------|--------------------|
| | | cm | % | dias |
| 1 | 0 | 65 d | 7 | 74 a |
| 2 | tS | 94 ab | 40 | 73 a |
| 3 | 5S | 96 a | 27 | 71 ab |
| 4 | 5S | 95 a | 20 | 71 ab |
| 5 | 0 | 65 d | 0 | 73 a |
| 6 | 0 | 65 d | 0 | 74 a |
| 7 | 5S | 93 ab | 13 | 71 ab |
| 8 | tS | 96 a | 13 | 73 a |
| 9 | 5S | 99 a | 13 | 74 a |
| 10 | tS | 92 ab | 0 | 71 ab |
| 11 | 5S | 96 a | 27 | 71 ab |
| 12 | 5S | 94 ab | 13 | 71 ab |
| 13 | 5S | 93 ab | 27 | 73 a |
| 14 | tS | 94 ab | 27 | 71 ab |
| 15 | tS | 96 a | 27 | 73 a |
| 16 | 10S | 98 a | 33 | 71 ab |
| 17 | 5S | 96 a | 13 | 71 ab |
| 18 | 5S | 96 a | 27 | 73 a |
| Al Res 102/84 | 30S | 77 c | 33 | 65 b |
| IAC-24 | 5S | 86 b | 33 | 74 ab |
| F (Genótipos) | – | 53,12* | – | 2,16* |
| d.m.s.(Tukey 5%) | – | 8 | – | 7 |
| CV % | – | 5,31 | – | 3,75 |

⁽¹⁾ Referente apenas ao ensaio instalado em Tatuí (1994). ⁽²⁾ Referente somente aos ensaios instalados em Tatuí (1994-96) e ⁽³⁾ Referente apenas ao ensaio instalado em Capão Bonito (1995). *: Significativo ao nível de 5%. Médias seguidas de uma letra em comum não diferem pelo teste de Tukey. tS = traços (apenas algumas pústulas); S = reação de suscetibilidade.

planta adulta, as linhagens 1, 5 e 6, que se apresentaram imunes, e as linhagens 2, 8, 10, 14 e 15, com reação tS (apenas algumas pústulas). Nas mesmas condições, a linhagem 16 e o cultivar Al Res 102/84 foram os mais suscetíveis à ferrugem-da-folha, apresentando um grau de infecção de 10S e 30S respectivamente.

A altura média das plantas dos genótipos, nos três ensaios de Tatuí, encontra-se no Quadro 4: as linhagens diaplóides 3, 4, 8, 9, 11, 15, 16, 17 e 18 exibiram as plantas mais altas, não diferindo, porém, das linhagens 2, 7, 10, 12, 13 e 14. As linhagens 1, 5 e 6 mostraram as plantas mais baixas, diferindo dos demais tratamentos. Essas últimas linhagens somadas à 10 apresentaram resistência ao acamamento, estando, portanto, entre aquelas com potencial de cultivo em condição de irrigação, em que essa característica é de fundamental importância. Os demais genótipos revelaram uma porcentagem média de plantas acamadas entre 13 e 40, índice que foi associado ao porte de planta mais alto.

A linhagem diaplóide 5, de porte baixo, resistente ao acamamento e à ferrugem-da-folha e com boa produtividade nos ensaios considerados representa um germoplasma de valor para futuro lançamento aos agricultores e também para utilização no programa de cruzamentos do Instituto Agrônomo, como fonte genética dessas características. Deve-se considerar que o método de obtenção dessa linhagem, mediante duplicação de plantas haplóides, originárias de cultura de anteras de plantas híbridas F_1 , permitiu um ganho de, pelo menos, cinco anos em relação ao método tradicional de melhoramento adotado pelo Instituto Agrônomo (Camargo, 1993).

O ciclo médio, em dias, da emergência ao florescimento dos genótipos, no ensaio de Capão Bonito (1995), encontram-se no Quadro 4: as linhagens 1, 2, 5, 6, 8, 9, 13, 15 e 18 foram as mais tardias para florescer, diferindo somente do cultivar controle Al Res 102/84, o mais precoce entre os genótipos avaliados, com um ciclo de 65 dias da emergência ao florescimento.

Os quadrados médios das análises da variância para comprimento da espiga, número de espiguetas por espiga, de grãos por espiga e por espiguetas e massa de cem grãos dos genótipos do ensaio de Tatuí (1994) mostraram efeitos significativos para genótipos, com exceção de massa de cem grãos, e efeitos não significativos para repetições, com exceção de número de espiguetas por espiga (Quadro 5).

A linhagem diaplóide 8 apresentou as espigas mais compridas, diferindo, porém, apenas do cultivar IAC-24, com as mais curtas. Os cultivares IAC-24 e Al Res 102/84, bem como as linhagens 8 e 12 apresentaram os maiores valores em relação ao número de espiguetas por espiga, mas diferindo da linhagem 17. Por apresentar, ao mesmo tempo, espigas mais compridas e maior número de espiguetas por espiga, a linhagem 8 revelou potencial para ser empregada como fonte genética dessas características no programa de cruzamentos do Instituto Agrônomo.

Não se observaram diferenças significativas entre os genótipos em relação ao número de grãos por espiga e à massa de cem grãos (Quadro 5). A linhagem 6 revelou o maior número de grãos por espiguetas, diferindo, porém, só do cultivar Al Res 102/84 e das linhagens 3 e 13. Por essa característica, associada ao porte de planta baixo e resistência ao agente causal da ferrugem-da-folha e ao acamamento, a linhagem 6 representa germoplasma de valor como fonte genética em programas de melhoramento.

O comprimento médio das raízes das linhagens e dos quatro cultivares-controles (Al Res 102/84, IAC-24, IAC-287 e IAC-227), medido após 72 horas de crescimento nas soluções nutritivas completas, que se seguiu a 48 horas de crescimento nas soluções de tratamento contendo quatro concentrações de alumínio, encontra-se no Quadro 6. Considerando 2 mg.L^{-1} de Al^{3+} , pode-se verificar que somente o cultivar-controle IAC-287 foi sensível a essa concentração e os demais genótipos, tolerantes. A sensibilidade desse cultivar para essa concentração de Al^{3+} já fora relatada por Camargo et al. (1987).

Quadro 5. Médias ⁽¹⁾ do comprimento da espiga, número de espiguetas por espiga, de grãos por espiga e por espiguetas, e massa de cem grãos dos genótipos de trigo avaliados no ensaio de Tatuí (1994), obtidas de 10 amostras

| Linhagens e Cultivares | Comprimento da espiga | Espiguetas por espiga | Grãos por espiga | Grãos por espiguetas | Massa de cem grãos |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|----------------------|--------------------|
| | cm | n.º | | | g |
| 1 | 9,2 ab | 18,7 ab | 39,4 | 2,09 a-c | 4,08 |
| 2 | 9,0 ab | 17,2 ab | 37,4 | 2,16 ab | 4,02 |
| 3 | 9,1 ab | 18,0 ab | 35,7 | 1,98 bc | 3,86 |
| 4 | 9,6 ab | 18,3 ab | 37,9 | 2,05 a-c | 4,00 |
| 5 | 9,5 ab | 18,7 ab | 41,1 | 2,19 ab | 3,78 |
| 6 | 9,3 ab | 18,6 ab | 41,6 | 2,23 a | 3,95 |
| 7 | 9,1 ab | 18,1 ab | 36,7 | 2,02 a-c | 3,96 |
| 8 | 9,7 a | 18,9 a | 40,1 | 2,12 a-c | 3,81 |
| 9 | 9,4 ab | 17,9 ab | 38,4 | 2,14 ab | 4,17 |
| 10 | 9,3 ab | 18,1 ab | 38,5 | 2,12 a-c | 3,89 |
| 11 | 9,3 ab | 17,8 ab | 37,6 | 2,10 a-c | 3,80 |
| 12 | 9,5 ab | 19,0 a | 38,7 | 2,03 a-c | 3,86 |
| 13 | 9,2 ab | 18,2 ab | 36,4 | 1,98 bc | 3,86 |
| 14 | 9,6 ab | 18,8 ab | 39,0 | 2,08 a-c | 3,92 |
| 15 | 9,2 ab | 18,1 ab | 38,4 | 2,12 a-c | 3,95 |
| 16 | 9,1 ab | 17,9 ab | 36,0 | 2,04 a-c | 3,91 |
| 17 | 8,5 ab | 16,4 b | 34,7 | 2,11 a-c | 4,21 |
| 18 | 9,3 ab | 17,9 ab | 38,3 | 2,13 a-c | 3,83 |
| Al Res 102/84 | 8,8 ab | 19,4 a | 35,5 | 1,84 c | 4,09 |
| IAC-24 | 8,3 b | 19,0 a | 41,7 | 2,19 ab | 3,99 |
| F (Repetições) | 1,41 | 3,59* | 1,61 | 1,86 | 1,38 |
| F (Genótipos) | 1,87* | 2,31* | 1,97* | 2,59* | 1,20 |
| d.m.s. (Tukey 5%) | 1,3 | 2,4 | 7,5 | 0,29 | 0,58 |
| CV % | 5,62 | 5,02 | 7,45 | 5,32 | 5,64 |

⁽¹⁾ Médias seguidas de uma letra em comum não diferem pelo teste de Tukey. *: Significativo ao nível de 5%.

Quadro 6. Comprimento médio das raízes dos genótipos de trigo, medido após 72 horas de crescimento na solução nutritiva completa, que se seguiu a crescimento na solução tratamento contendo quatro níveis de Al^{3+}

| Linhagens e Cultivares | Concentração de alumínio ($mg.L^{-1}$) | | | |
|------------------------|--|-------|------|------|
| | 0 | 2 | 4 | 8 |
| | mm | | | |
| 1 | 100,7 | 85,7 | 79,1 | 15,9 |
| 2 | 83,4 | 73,0 | 67,3 | 35,3 |
| 3 | 89,8 | 78,2 | 68,8 | 34,0 |
| 4 | 86,1 | 76,9 | 60,0 | 35,4 |
| 5 | 85,1 | 79,9 | 76,4 | 16,3 |
| 6 | 101,4 | 86,1 | 71,6 | 15,8 |
| 7 | 75,2 | 75,9 | 62,4 | 33,8 |
| 8 | 83,3 | 74,4 | 61,2 | 35,9 |
| 9 | 74,8 | 78,8 | 58,5 | 39,8 |
| 10 | 78,9 | 73,5 | 59,9 | 25,8 |
| 11 | 77,2 | 69,3 | 62,6 | 29,6 |
| 12 | 73,2 | 77,8 | 68,2 | 37,8 |
| 13 | 75,0 | 76,6 | 58,8 | 34,8 |
| 14 | 80,9 | 79,6 | 66,3 | 37,5 |
| 15 | 80,8 | 70,8 | 61,4 | 36,8 |
| 16 | 80,1 | 72,8 | 64,8 | 32,2 |
| 17 | 83,7 | 77,5 | 66,6 | 41,1 |
| 18 | 81,1 | 77,5 | 66,3 | 31,1 |
| Al Res 102/84 ... | 95,9 | 70,2 | 49,8 | 16,8 |
| IAC-24 | 70,3 | 67,9 | 65,1 | 34,8 |
| IAC-287 | 88,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| IAC-227 | 92,1 | 103,0 | 94,6 | 45,6 |

Todos os genótipos (com exceção do 'IAC-287') foram tolerantes ao Al, isto é, apresentaram crescimento das raízes mesmo após permanecerem 48 horas em soluções de tratamento contendo a dose de 8 $mg.L^{-1}$ de Al^{3+} . Correlações entre as respostas de tolerância aos diferentes níveis de Al foram positivas e significativas entre as doses 0, 2 e 4 $mg.L^{-1}$ de Al, variando de 0,65 a 0,69 ($P < 0,01$), como relatado por Cosic et al. (1994). Todavia, foram negativas quando

a correlação foi feita com a concentração de 8 $mg.L^{-1}$, variando de -0,52 a -0,68 ($P < 0,05$). Correlações positivas para taxa de retomada de crescimento entre os níveis 0, 2 e 4 $mg.L^{-1}$ de Al sugerem que os níveis de 2 e 4 $mg.L^{-1}$ não interferiram com a taxa; todavia, o mesmo não teria ocorrido com a dose 8 $mg.L^{-1}$. Levando-se em conta que a dose usada para seleção de plantas tolerantes varia de 3 a 4 $mg.L^{-1}$ de Al (Camargo, 1984), níveis esses apropriados para seleção nas condições de campo deste estudo, poderia ser interessante usar doses mais elevadas de Al nas soluções de tratamento para fins de seleção, objetivando os solos ácidos, com maiores teores de Al^{3+} .

A tolerância ao Al mostrou-se condicionada por um gene dominante (Camargo, 1981), mas Johnson et al. (1997) identificaram genes menores afetando a expressão do nível de tolerância. Genes desse tipo poderiam estar interagindo com o nível alto (8 $mg.L^{-1}$) e com os mais baixos (\leq ou = 4 $mg.L^{-1}$) de Al empregados, como pode ser inferido pela inversão nos valores das correlações. O 'IAC-24', utilizado como um dos parentais nos cruzamentos que originaram as linhagens diplóides, por suas características agrônomicas (Felicio et al., 1988) e capacidade androgenética (Ramos et al., 1994), mostrou também elevado potencial genético em transmitir a tolerância à toxicidade de alumínio a seus descendentes, visto tratar-se de caráter condicionado por um fator dominante (Camargo, 1981).

4. CONCLUSÕES

1. O emprego da técnica de obtenção de linhagens diplóides a partir de duplicação de plantas haplóides oriundas de cultura de anteras de plantas F_1 , foi altamente eficiente, tendo originado novos genótipos com características agrônomicas vantajosas, em um período menor, significativamente, em relação ao programa de melhoramento tradicional.

2. A linhagem DH 5 destacou-se pela produtividade associada a porte baixo, resistência ao

acamamento e ao agente causal da ferrugem-da-folha, e pela tolerância ao Al³⁺.

3. A linhagem DH 6, pelo maior número de grãos por espiguetas, porte baixo, resistência ao acamamento e à ferrugem-da-folha, e a 8, com espigas mais compridas e maior número de espiguetas por espiga, poderiam ser utilizadas como fontes genéticas dessas características no programa de cruzamentos.

4. Todos os genótipos estudados (exceto o 'IAC-287') exibiram elevada tolerância ao Al³⁺.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMARGO, C.E. de O. *Estudos de variedades de trigo para o Estado de São Paulo*. Piracicaba, 1972. 136p. Tese (Doutorado) - ESALQ-USP, 1972.
- CAMARGO, C.E. de O. Melhoramento do trigo. I. Hereditabilidade da tolerância à toxicidade do alumínio. *Bragantia*, Campinas, **40**:33-45, 1981.
- CAMARGO, C.E. de O. Melhoramento do trigo. VI. Hereditabilidade da tolerância a três concentrações de alumínio em solução nutritiva. *Bragantia*, Campinas, **43**(2):279-291, 1984.
- CAMARGO, C.E. de O. Trigo. In: FURLANI, A.M.C. & VIEGAS, G.P., eds. *O melhoramento de plantas no Instituto Agrônomo*. Campinas, Instituto Agrônomo, 1993. p.433-488.
- CAMARGO, C.E. de O.; ALCOVER, M. & ISSA, E. Comportamento de cultivares de trigo em condições de sequeiro no Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, **33**:43-53, 1974.
- CAMARGO, C.E. de O.; FELICIO, J.C. & FERREIRA FILHO, A.W.P. *Variedades de trigo para o Estado de São Paulo*. Campinas, Instituto Agrônomo, 1996. 20p. (Boletim Técnico, 163)
- CAMARGO, C.E. de O.; FELICIO, J.C.; FERREIRA FILHO, A.W.P.; BARROS, B. de C.; FREITAS, J.G. de; PETTINELLI JÚNIOR, A.; GALLO, P.B. & KANTHACK, R.A.D. Melhoramento do trigo: XXV. Avaliação de genótipos oriundos de populações híbridas introduzidas de Oregon (EUA) no Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, **50**(2):225-246, 1991.
- CAMARGO, C.E. de O.; FELICIO, J.C.; FERREIRA FILHO, A.W.P.; FREITAS, J.G. de.; BARROS, B. de C.; CASTRO, J.L. de; SABINO, J.C. & ROCHA JÚNIOR, L.S. Melhoramento do trigo: XXI. Avaliação de linhagens em diferentes regiões paulistas. *Bragantia*, Campinas, **48**(1):53-71, 1989.
- CAMARGO, C.E. de O.; FELICIO, J.C. & ROCHA JÚNIOR, L.S. Trigo: tolerância ao alumínio em solução nutritiva. *Bragantia*, Campinas, **46**(2):183-190, 1987.
- CAMARGO, C.E. de O.; FERREIRA FILHO, A.W.P. & ROCHA JÚNIOR, L.S. Melhoramento do trigo: XXVII. Estimativas de variância, herdabilidade e correlações em populações híbridas para produção de grãos, tolerância à toxicidade de alumínio e altura das plantas. *Bragantia*, Campinas, **51**(1):21-30, 1992.
- CAMARGO, C.E. de O.; FERREIRA FILHO, A.W.P. & TULMANN NETO, A. Genetic diversity in wheat and breeding for tolerance to acid soils. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE USE OF INDUCED MUTATIONS AND MOLECULAR TECHNIQUES FOR CROP IMPROVEMENT, Viena, Austria, 1995. *Proceedings*. Viena, International Atomic Energy Agency, 1995a. p.321-333.
- CAMARGO, C.E. de O. & OLIVEIRA, O.F. de. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. *Bragantia*, Campinas, **40**:21-31, 1981.
- CAMARGO, C.E. de O.; TULMANN NETO, A.; FERREIRA FILHO, A.W.P.; FREITAS, J.G. de.; PETTINELLI JÚNIOR, A. & CASTRO, J.L. Avaliação de genótipos de trigo oriundos de cruzamento interespecífico e radiação gama no Estado de São Paulo. *Scientia Agricola*, Piracicaba, **52**(1):25-37, 1995 b.
- COSIC, T.; POLJAK, M.; CUSTIC, M. & RENGEL, Z. Aluminum tolerance of durum wheat germplasm. *Euphytica*, Dordrecht, **78**:239-243, 1994.
- FELICIO, J.C.; CAMARGO, C.E. de O. & BARROS, B. de C. Estudo comparativo de trigo em latossolo-roxo, no Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, **35**:147-154, 1976.
- FELICIO, J.C.; CAMARGO, C.E. de O.; FERREIRA FILHO, A.W.P.; FREITAS, J.G. de & VITTI, P. Tocantins (IAC-23) e Tucuruí (IAC-24): novos cultivares de trigo. *Bragantia*, Campinas, **47**(1):93-107, 1988.

- FELICIO, J.C.; CAMARGO, C.E. de O.; FERREIRA FILHO, A.W.P.; GALLO, P.B.; RAMOS, V.J. & VITTI, P. IAC-60 Centenário e IAC-162 Tuiuiú: cultivares de trigo para sequeiro e irrigado no Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, **50**(2): 291-309, 1991.
- FELICIO, J.C.; CAMARGO, C.E. de O.; VITTI, P. & PEREIRA, J.C.V.N. Origem e avaliação de trigo 'Tapajós' (IAC-72), 'Anhumas' (IAC-227) e 'Yaco' (IAC-287) para o Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, **52**(2):219-235, 1994.
- GRANDO, M.F. & MORAES FERNANDES, M.I.B. Two point deterministic model for acquisition of in vitro pollen grain androgenetic capacity based on wheat studies. *Brazilian Journal of Genetics*, Ribeirão Preto, **20** (3):467-476, 1997.
- JOHNSON, J. P.; CARVER, B. F. & BALIGAR, V. C. Expression of aluminum tolerance transferred from Atlas 66 to hard winter wheat. *Crop Science*, Madison, **37**:103-108, 1997.
- 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, Beltsville, 1976. *Proceedings*. Ithaca, Cornell University, 1976. p. 287-295.
- MORAES-FERNANDES, M.I.B. Perspectivas da biotecnologia para o melhoramento de plantas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, **22**:881-896, 1987.
- MORAES-FERNANDES, M.I.B. & PICARD, E. Viability of haploid production by anther culture using Brazilian wheat genotypes. *Brazilian Journal of Genetics*, Ribeirão Preto, **6**(2):261-277, 1983.
- PICARD, E.; CRAMBES, É; LIU, C.S. & MIHAMOU-ZIYYAT, A. Évolution des méthodes d'haploidisation et perspectives pour l'amélioration des plants. *Comptes Rendus des Seances de la Société de Biologie e des ses Filiales*, Paris, **188**:109-141, 1994.
- RAMOS, L.C. da S.; YOKOO, E.Y. & CAMARGO, C.E. de O. Adequação de meios de cultura de anteras e testes de genótipos de trigo. *Bragantia*, Campinas, **53** (2):151-157, 1994.
- SCHRAMM, W.; FULCO, W.S.; SOARES, M.H.G. & ALMEIDA, A.M. Resistência de cultivares de trigo em experimentação ou cultivo no Rio Grande do Sul, às principais doenças fúngicas. *Agronomia Sulriogradense*, Porto Alegre, **10**(1):31-52, 1974.