

INDUÇÃO DE MUTAÇÃO VISANDO OBTENÇÃO DE RESISTÊNCIA A DOENÇAS NA CULTIVAR DE TRIGO IAC-24¹

AUGUSTO TULMANN NETO², CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA CAMARGO³, MARCELO CORREA ALVES⁴, RUI RIBEIRO DOS SANTOS⁵ e JOSÉ GUILHERME DE FREITAS⁵

RESUMO - Objetivou-se a obtenção de resistência a doenças através da indução de mutação por raios-gama no trigo (*Triticum aestivum* L.) cv. IAC-24. Sementes foram irradiadas com 25 e 35 krad, e a partir da geração M₂ iniciou-se a seleção. Oito das linhagens selecionadas foram comparadas com a cultivar original, durante três anos (gerações M₂, M₃ e M₄), em nove ensaios avançados realizados em vários locais, em condição de irrigação e sequeiro. Os resultados demonstraram que quatro linhagens foram imunes ao agente causal da ferrugem-da-folha, sendo que dentre elas, uma foi moderadamente resistente ao oídio, e outra, apresentou melhor reação à mancha-da-folha. Em duas das linhagens resistentes, houve a manutenção da produção de grãos, altura das plantas e tolerância da cultivar IAC-24 ao Al, o que demonstra a utilidade do método para a correção de defeitos em uma cultivar que já possui uma série de boas características agronômicas.

Termos para indexação: raios-gama, ferrugem-da-folha, mancha-foliar, oídio.

MUTATION BREEDING IN CULTIVAR IAC-24 OF WHEAT AIMING AT RESISTANCE TO DISEASES

ABSTRACT - The objective of the present work was to obtain mutants with disease resistance in the wheat cultivar IAC-24. Seeds were irradiated with gamma-rays (25 and 35 krad) and the selection was started in the M₂ generation. Eight selected lines were compared with the control IAC-24 during three years (M₂, M₃ and M₄ generations) in nine trials carried out in several locations with and without irrigation. Four mutant lines were immune to leaf rust and one of them showed also moderate resistance to powdery mildew. Another mutant line showed better reaction to leaf spot. Two of these mutant lines maintained the same yield, plant height and tolerance to aluminum toxicity as the control. These results show the usefulness of mutation breeding approach to correct defects in outstanding cultivars.

Index terms: gamma-rays, leaf rust, leaf spot, mildew.

INTRODUÇÃO

A indução de mutação em espécies propagadas por sementes tem resultado na liberação de centenas de cultivares para os agricultores (Micke et al.,

1993). Dentre estas, é grande o número obtido em cereais como o trigo, com a obtenção de 126 cultivares (Micke et al., 1990). Na maioria dos casos, o mutante obtido, após ensaios, foi liberado diretamente aos agricultores, mas tem crescido o número de mutantes introduzidos em programas de cruzamento e que posteriormente deram origem a novas cultivares. Foi o que ocorreu, por exemplo, no Brasil, com a cultivar de trigo IAS 63, obtida em 1967 por Silva e originada do cruzamento entre duas linhagens mutantes obtidas por radiação gama, como descrito por Gomes & Ignaczak (1974). Esta foi a primeira cultivar de trigo liberada no Brasil para o cultivo, originária indiretamente de indução de mutação.

¹ Aceito para publicação em 30 de janeiro de 1995.

² Eng. Agr., Dr., CENA/USP, CEP 13 400-970 Piracicaba, SP.

³ Eng. Agr., Dr., IAC, CEP 13001-970 Campinas, SP.

⁴ Eng. Agr., M.Sc, CIAGRI/USP, CEP 13.416 Piracicaba, SP.

⁵ Eng. Agr., IAC, CEP 13 400-979 Campinas, SP.

Existem várias situações em que a indução de mutação pode ser recomendada para o melhoramento de trigo ou de outros cereais (Brock, 1977). Uma delas, é que pode-se obter correção em alguma característica agrônômica indesejável sem outras alterações drásticas no genótipo original. Esta possibilidade é que levou a realização desta pesquisa. A cultivar de trigo IAC-24, na época de sua liberação aos agricultores, além de alta produtividade de grãos, apresentava outras características agrônômicas favoráveis, tais como porte semi-anão e tolerância à toxicidade a Al³⁺ (Camargo et al., 1985; Camargo, 1987). Observou-se, posteriormente, que tal cultivar apresentava sensibilidade à ferrugem-da-folha e à helmintosporiose.

Diante do que foi exposto, realizou-se este trabalho com o objetivo de indução de mutação visando obtenção de resistência à ferrugem-da-folha e à helmintosporiose na cultivar IAC-24, mantendo-se inalteradas suas demais características agrônômicas

MATERIAL E MÉTODOS

Tendo-se em vista os objetivos citados anteriormente, foram utilizadas sementes da cultivar de trigo IAC-24 (Tucuruí). Esta cultivar foi obtida por seleção, a partir do cruzamento: IAS-51 x IRN 597-70, sendo lançada para o Estado de S. Paulo em 1982. Apesar de ser também recomendada para outros estados, ela atualmente é uma das mais cultivadas no Estado de S. Paulo. Como características agrônômicas principais destacam-se: produtividade, porte baixo, tolerância ao alumínio e ótimas qualidades para panificação (Camargo, 1993).

Os tratamentos com raios gama foram realizados na fonte de ⁶⁰Co do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA/USP), em Piracicaba, SP.

Obtenção da geração M₁

Com base em ensaio preliminar realizado antes do início do experimento, determinou-se que as sementes deveriam ser irradiadas com 25 e 35 krad de raios gama para a obtenção da geração M₁. Estas doses escolhidas produziam uma redução de cerca de 12 e 15% na altura das plântulas, respectivamente. Doses maiores do que 35 krad produziam elevada redução da altura, podendo reduzir muito a sobrevivência ou acarretar mutações deletérias in-

desejáveis. Utilizou-se a taxa de dose de 129 kR/hora e teor de umidade de sementes de 12%. Foram irradiadas 150.000 sementes com cada dose. O plantio foi feito em 1985, no campo da Estação Experimental do IAC, em Tatuí, SP. A geração M₁ foi colhida pelo sistema massal, e, para a facilidade do trabalho, resolveu-se reunir as sementes dos dois tratamentos.

Obtenção da geração M₂

No mês de maio de 1986, 283.000 sementes da população M₂ da cultivar IAC-24, originadas do tratamento com radiação, foram semeadas na Estação Experimental de Tatuí, SP. Utilizaram-se linhas de 5 m de comprimento, com espaços, entre uma e outra, de 0,20 m. A cada 10 linhas foi plantada uma linha da cultivar IAC-24 original como controle. Por ocasião do início de maturação, foram feitas seleções de plantas levando-se em conta especialmente resistência à ferrugem-da-folha e à helmintosporiose. Por ocasião da maturação completa, foi colhida uma espiga de cada planta selecionada.

Condução das gerações M₃ e M₄

No mês de maio de 1987, as sementes de cada espiga, em geração M₃, proveniente das plantas selecionadas, no ciclo anterior, das populações, foram semeadas em uma linha, de 1 m de comprimento a espaços de 0,20 m. A cada dez linhas, foi plantada uma linha da cultivar original como controle. Por ocasião da época de maturação, foram feitas seleções de plantas dentro e entre progênies, levando-se em conta os objetivos já mencionados. Escolheu-se de cada planta uma espiga.

No mês de maio de 1988, as sementes de cada espiga em geração M₄ foram semeadas em uma linha de 1 m de comprimento, a espaços de 0,20 m, plantando-se também uma linha da cultivar-controle a cada dez linhas. Por ocasião da época de maturação, foram feitas seleções das melhores linhas (progênies), levando-se em consideração os objetivos do trabalho. As linhas selecionadas foram colhidas, e os grãos obtidos foram avaliados no Ensaio Preliminar de Linhagens, no ano seguinte.

As sementes dessas plantas (geração M₄) foram testadas em solução nutritiva contendo 3, 6 e 10 mg/l de Al³⁺, conforme método de Moore et al. (1976) e Camargo & Oliveira (1981).

Ensaio preliminar de linhagens

As sementes das linhagens em geração M₃, oriundas das populações irradiadas foram semeadas em duas ou três linhas de 3 m de comprimento, com espaços, entre uma e

outra, de 0,40 m, na Estação Experimental de Tatuí, no mês de maio de 1989. O solo utilizado era corrigido e adubado e empregou-se irrigação por aspersão.

Por ocasião do início de maturação, as linhagens foram avaliadas quanto ao porte, ciclo, resistência a doenças e produção de grãos, selecionando-se as melhores para serem estudadas nos ensaios avançados de linhagens.

Ensaio avançado de linhagens

Eram compostos de oito linhagens selecionadas de IAC-24, provenientes do tratamento com irradiação, da cultivar IAC-24 original e também da cultivar BH 1146, que é um material de porte alto. A partir de 1990, foram realizados nove ensaios em vários locais, em condição de irrigação ou sequeiro, correspondentes a várias zonas para o cultivo de trigo no Estado de São Paulo. Em condição de sequeiro, foram realizados três ensaios: Cândido Mota (1992, Zona A) e Capão Bonito (1991 e 1992, Zona B). Em condição de irrigação por aspersão, foram os seguintes os seis ensaios realizados: Monte Alegre do Sul (1990, Zona H); Tatuí (1990, 1991 e 1992, Zona D) e Campinas (1991 e 1992, Zona H).

Em todos os experimentos utilizou-se o delineamento estatístico de blocos ao acaso, com três repetições. Cada ensaio foi constituído de 30 parcelas, cada uma formada de seis linhas de 3 m de comprimento, a espaços de 0,20 m. Deixou-se uma separação lateral de 0,60 m entre as parcelas. A semeadura foi feita na base de 80 sementes viáveis por metro de sulco, equivalendo a 1.440 por parcela, com uma área útil de colheita de 3,6 m².

Foram coletados os seguintes dados:

1. Altura das plantas: medindo no campo, na época de início de maturação, a distância, em centímetros, do nível do solo ao ápice da espiga, excluindo as aristas.

2. Ciclo da emergência à maturação: fazendo-se contagens do número de dias decorridos da emergência das plântulas até a maturação e classificando-se em: Precoce = 100 - 120 dias; médio = 121 a 130 dias e tardio = mais de 130 dias.

3. Ferrugem-da-folha: efetuou-se a avaliação dessa doença, causada por *Puccinia recondita*, através de observação geral, em cada planta, nas folhas superiores, no estágio de início de maturação, em condições naturais de infecção. Empregou-se a escala modificada de Cobb, para avaliação da resistência, no Ensaio Internacional de Ferrugem-do-Trigo de Primavera (International Spring Wheat Rust Nursery), de Schramm et al. (1974). Essa escala vai de 0 a 99% de área foliar infectada, complementada pelo tipo de reação: S = suscetível (uredossoro grande, coalescente, sem

necrose e sem clorose); MS = moderadamente suscetível (uredossoro médio); M = intermediário (diversos tipos de reação); MR = moderadamente resistente (uredossoro pequeno), e R = resistente (uredossoro minúsculo, rodeado de áreas necróticas).

4. Mancha-foliar: avaliou-se esta doença, causada principalmente por *Helminthosporium sativum*, no estágio de planta adulta, em condições naturais de infecção, empregando-se uma escala (Mehta, 1978) de 0 a 99% de área infectada: zero, é considerado imune; 1 a 5%, resistente; 6 a 25%, moderadamente resistente; 26 a 50%, suscetível e 51 a 99%, altamente suscetível.

5. Oídio: para a avaliação de oídio causado por *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici*, efetuou-se, em cada parcela, em fase de planta adulta, em condições naturais de infecção, empregando-se uma escala de 0 a 99% de área infectada, apresentada por Mehta (1978), onde 0 é considerado imune; 1 a 5%, resistente; 6 a 25%, moderadamente resistente; 26 a 50%, suscetível, e 51 a 99%, altamente suscetível.

6. Ciclo da emergência ao florescimento: efetuando-se contagens por parcela individual do número de dias da emergência das plântulas ao pleno florescimento.

7. Plantas acamadas: considerando-se a porcentagem de plantas acamadas em cada parcela, por avaliação visual próxima à época de maturação, em uma escala que variou de 0 (sem acamamento) até 100% de acamamento.

8. Produção de grãos: pesando-se, em gramas, a produção total de grãos de cada parcela, a qual foi transformada para quilograma/hectare.

9. Comprimento da espiga: considerando-se o comprimento médio, em centímetros, de dez espigas colhidas ao acaso em cada parcela, excluindo-se as aristas.

10. Espiguetas: computando-se o número médio de espiguetas de dez espigas tomadas ao acaso em cada parcela.

11. Grãos por espiga: considerando-se o número médio de grãos contados em dez espigas tomadas ao acaso, em cada parcela.

12. Grãos por espiguetas: calculando-se, pela divisão do número total de grãos de dez espigas coletadas ao acaso, em cada parcela, pelo número total de suas espiguetas.

13. Peso de cem grãos: levando-se em conta o peso, em gramas, de cem grãos tomados ao acaso, na produção total de cada parcela.

Estas últimas cinco características foram avaliadas somente nos ensaios de Tatuí e Campinas, em 1992.

Análises estatísticas

Quanto às variáveis produção de grãos e altura de plantas, as análises foram feitas de forma a levar-se em consideração as duas condições de manejo de água: irrigada e

sequeiro. Numa primeira análise, os dados obtidos foram analisados em separado, segundo o modelo adequado para experimentos aleatorizados em blocos. Uma vez verificada a homogeneidade de variâncias entre as duas condições, e dada a uniformidade do planejamento nos nove ensaios avançados, optou-se pela execução da análise conjunta dos experimentos irrigados e em condição de sequeiro. Uma vez verificada a existência de diferenças entre pelo menos dois genótipos, por intermédio do teste F, as linhagens selecionadas e a cultivar BH-1146 foram comparadas com o controle (IAC-24) através de contrastes.

Na análise conjunta, foi possível testar o efeito de ensaios e também de irrigação; para tanto, foi adotado o teste F. Por se tratar de uma análise conjunta, o resíduo utilizado nesse último teste foi o efeito de bloco dentro de irrigação. Além disto, o modelo permitiu, ainda, o teste da existência de interação entre os genótipos em condição de irrigação e sequeiro. O teste para esta interação visa estabelecer a generalidade dos resultados para as duas condições. Aceitando-se a inexistência do efeito de interação, é permitido concluir que os genótipos se comportam de maneira semelhante, independentemente da presença ou ausência de irrigação.

Antes, ainda, de proceder à análise de variância, foi feito o estudo da relação entre o logaritmo da média e o logaritmo da variância. O procedimento foi aplicado com o objetivo de verificar a necessidade de aplicação da transformação de dados. A partir dessa análise, determinou-se que as variáveis deveriam ser transformadas. As transformações foram feitas elevando-se cada uma delas ao expoente: $1 - (b/2)$, onde "b" é o coeficiente linear obtido na regressão linear executada e expressa anteriormente. A análise dos dados transformados permitiu concluir que houve rompimento na relação entre a média, e variância para as variáveis produção e altura, obtendo-se ainda uma redução no coeficiente de variação.

A análise de comprimento da espiga, de espiguetas por espiga, grãos por espiga e peso de 100 sementes dos dados obtidos nos ensaios de Tatuí e Campinas, em 1992, foi realizada segundo o modelo adotado no planejamento, que foi o de um experimento aleatorizado em blocos, onde cada bloco foi instalado em um local. Objetivou-se verificar a existência de diferença estatística significativa ao nível alfa de significância de 5% entre os genótipos, através do teste F. As linhagens selecionadas e a cultivar BH-1146 foram comparadas com a cultivar controle IAC-24, através de contrastes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Obtenção de linhagens selecionadas de IAC-24

A seleção para obtenção de linhagens, de acordo com os objetivos, começou a ser efetuada na geração M_2 . Os critérios em que se basearam as seleções foram descritos anteriormente. Em 1986, foram selecionadas 483 plantas, observando-se suas progênies (geração M_3) no campo em 1987. Destas, 159 seguiram em observação em 1988 (geração M_4), elegendo-se 26 para o ensaio preliminar (geração M_5) realizado em 1990. Deste ensaio preliminar, resultaram as oito linhagens que foram incluídas, a partir da geração M_6 , nos ensaios avançados de produção, acima relatados, as quais foram denominadas de L-15, L-16, L-17, L-18, L-19, L-20, L-21 e L-22.

Análise conjunta da produção de grãos e altura das plantas e médias das percentagens de acamamento dos ensaios avançados de linhagens

Visando simplificar a apresentação dos resultados diante do grande volume de dados coletados, decidiu-se apresentar, no tocante à produção de grãos e à altura de plantas, apenas os dados da análise conjunta, que, como será observado, permitem uma discussão e conclusão de acordo com os objetivos deste trabalho. Estes resultados da análise conjunta da produção e altura, bem como os dados médios da percentagem de acamamento, dos nove ensaios avançados, em condição de irrigação e sequeiro, encontram-se na Tabela 1.

Observa-se que os coeficientes de variação foram bastante aceitáveis. Em todos os casos, o valor de F para genótipos foi significativo. Os genótipos se comportaram da mesma maneira em condição de irrigação e sequeiro, como indicado pelo valor não significativo de F (Genótipo x irrigação). A produção dos genótipos foi afetada pela irrigação, como se observa pelo valor de F (irrigação x sequeiro), mas no tocante à altura, isto não ocorreu, levando-se em conta que esta característica tem alta herdabilidade, o que não ocorre com a produção de grãos, que é muito afetada pelo ambiente (Camargo & Ramos, 1989). As linhagens 15, 17 e 20 apresentaram produção de grãos significativamente menor do que

TABELA 1. Médias¹ de produção, altura das plantas e acamamento das 8 linhagens selecionadas do tratamento com sementes irradiadas e de BH 1146, em comparação com a cultivar IAC-24 original 2.

Genótipos	Produção de grãos (kg/ha)	Altura (cm)	Acamamento %
IAC-24	2.729 a	81 a	20
BH-1146	2.641 a	107 b	58
L-15	2.139 b	75 a	9
L-16	2.674 a	84 a	22
L-17	2.406 b	76 a	4
L-18	2.711 a	80 a	22
L-19	2.396 a	88 b	40
L-20	2.086 b	75 a	22
L-21	2.709 a	77 a	27
L-22	2.588	78 a	11
F (Gen.)	4,66**	24,90**	
F (Gen. x Irrigação)	1,50 n.s	0,66 n.s	
F (Irrig x Seq)	6,44**	1,54 n.s	
F (Ensaio)	65,68**	34,03**	
CV%	13,31	7,03	

¹ Médias de 9 ensaios realizados em vários anos e locais em condição de irrigação e sequeiro.

² As médias das 8 linhagens e de BH 1146 foram comparadas com as da cultivar IAC-24 por contraste. Médias das linhagens e de BH-1146 seguidas pelas mesmas letras de IAC-24, onde os valores de F foram significativos não apresentam diferença estatística significativa em relação a IAC-24.

IAC-24, e os outros genótipos foram semelhantes a ele. A linhagem 19 e a cultivar BH 1146 apresentaram altura de planta e percentagem de acamamento maior do que a cultivar IAC-24 e as outras linhagens avaliadas.

Outras características agronômicas dos genótipos avaliados nos ensaios avançados de linhagens

Na Tabela 2, observa-se a incidência mínima e máxima da mancha-foliar, do oídio, e da ferrugem-da-folha, nos ensaios onde houve a ocorrência destas doenças, segundo a escala acima descrita.

Verifica-se, pelos resultados dos valores máximos de incidência obtidos, que existiram condições favoráveis (alto potencial de inóculo no solo e ocorrência de chuvas ou irrigação) para a ocorrência da mancha-da-folha. Apesar de desde o início do trabalho, as linhagens terem sido selecionadas por apresenta-

TABELA 2. Incidência mínima e máxima de doenças nas linhagens selecionadas e nas cultivares IAC-24 e BH 1146, avaliada nos 9 ensaios¹ de acordo com as escalas utilizadas.

Tratamento	Mancha-da-folha (%)	Oídio (%)	Ferrugem-da-folha (%)
IAC-24	10-60	5-60	0-10S
BH 1146	10-80	30-40	5S-10S
L-15	10-80	0-30	0-tS
L-16	10-50	0-20	0
L-17	10-40	0-30	0
L-18	20-60	0-30	0-tS
L-19	20-50	0-40	0-tS
L-20	10-80	0-60	0-tS
L-21	20-80	0-50	0
L-22	10-60	0-30	0

¹ Ensaios realizados em condição de irrigação e sequeiro nos anos de 1990, 1991 e 1992.

S = Reação de suscetibilidade

t = traço (algumas pústulas)

rem melhor reação que o controle da mancha-das-folhas, observou-se que nos ensaios as diferenças mínimas e máximas com relação ao controle não foram tão evidentes. Segundo o critério adotado neste tipo de avaliação, as linhagens 16, 17 e 19 podem ser consideradas suscetíveis aos agentes causais das manchas-foliares, por apresentarem percentagem de área foliar infectada entre 25 e 50% em pelo menos um dos locais avaliados. Os outros genótipos foram altamente suscetíveis pois mostraram área foliar infectada entre 51 e 99% em pelo menos um dos ensaios.

No que se refere a oídio, a linhagem 16 pode ser considerada como moderadamente resistente, pois apresentou uma percentagem de área foliar infectada não superior a 25. A linhagem 20 foi considerada altamente suscetível (área infectada entre 51 e 99%), e as demais linhagens e as cultivares IAC-24 e BH 1146, suscetíveis. No que tange à ferrugem da folha, os valores máximos de incidência obtidos nos controles indicam que as condições predisponentes não foram tão favoráveis como no caso anterior. Nestas condições, as linhagens 16, 17, 21 e 22 mostraram-se

imunes, e os demais genótipos exibiram somente algumas pústulas (tS). Nas mesmas condições as cultivares IAC-24 e BH 1146 apresentaram, em pelo menos um dos experimentos, grau de infecção 10S, verificando-se portanto, que as linhagens selecionadas mostraram-se mais resistentes à ferrugem-da-folha que estes controles.

Na Tabela 3, observam-se os dados relacionados aos componentes da produção, avaliados nos ensaios realizados em Tatuí e em Campinas, sob condição de irrigação, em 1992. Os valores das cinco características foram afetados pelo local do experimento, como se observa pela significância do valor de F referente a locais. Não se observaram diferenças estatísticas significativas quanto ao comprimento da espiga e ao número de espiguetas por espiga. Algumas linhagens apresentaram valores significativamente maiores do que a cultivar IAC-24 quanto às características número de grãos por espiga (L-17), grãos por espiguetas (L-16, L-17 e L-21) e peso de 100 grãos (L-16).

TABELA 3. Dados médios¹ referentes a comprimento da espiga, número de espiguetas por espiga, número de grãos por espiguetas e peso de cem grãos das 8 linhagens selecionadas do tratamento com sementes irradiadas, de IAC-24 e de BH 1146, avaliados no ensaio de Tatuí e Campinas, sob condição de irrigação em 1992.

Genótipos	Comprimento da espiga (cm)	Espiguetas por espiga (n ^o)	Grãos por espiga (n ^o)	Grãos por espiguetas (n ^o)	Peso de cem grãos (g)
IAC-24	7,7	18,9	29,1a	1,5 a	4,1 a
BH 1146	7,7	17,7	28,3 a	1,6 a	4,3 a
L-15	7,1	18,6	28,4 a	1,5 a	3,8 a
L-16	7,7	17,5	31,4 a	1,8 b	4,6 b
L-17	7,5	18,2	36,9 b	2,0 b	4,3 a
L-18	8,0	18,7	31,7 a	1,7 a	4,2 a
L-19	7,3	18,7	28,4 a	1,5 a	3,7 a
L-20	8,2	19,2	34,1 a	1,7 a	4,0 a
L-21	7,3	18,8	34,0 a	1,8 b	4,0 a
L-22	7,4	19,4	32,1 a	1,6 a	3,7 a
F(Genót.)	2,64 n.s	1,61 n.s	2,27*	4,52*	3,98*
F(Locais)	21,71**	19,32**	16,25**	9,53**	154,30**
CV%	3,99	3,67	3,99	6,64	5,00

¹ As médias das linhagens e de BH 1146 foram comparadas com as da cultivar IAC-24 por contraste. Médias seguidas pelas mesmas letras de IAC-24, onde os valores de F foram significativos não apresentam diferença estatística significativa em relação a IAC-24.

Seria de se esperar que alguns dos mutantes que apresentaram várias características agrônômicas desejáveis tivessem alguma vantagem no rendimento de grãos, o que não ocorreu, como observado pela Tabela 1 em que a maioria das linhagens selecionadas apresentou produção semelhante ao controle IAC-24. Isto pode ter ocorrido por várias razões. No que se refere ao acamamento, deve-se dizer que os ensaios foram colhidos manualmente, e deste modo desapareceria a vantagem que poderia ser obtida em linhagens com valores menores de acamamento, quando a colheita é feita através de máquinas, em que valores maiores de acamamento podem trazer prejuízos no rendimento de grãos. Embora em algumas linhagens alguns componentes de produção fossem maiores do que os do controle, a análise destes componentes foi feita apenas em dois dos nove locais, e além disto, estas diferenças existiram em apenas alguns destes componentes. Também já se discutiu, acima, que, embora houvesse progressos na resistência de alguns mutantes, a doenças, é possível que eles não tenham sido suficientemente grandes para refletirem aumentos na produção de grãos. Como relatado no início deste trabalho, é por esta razão que tem aumentado o uso de linhagens mutantes em programas de cruzamento, podendo-se, desta maneira, combinar as várias características vantajosas obtidas em várias linhagens. Mas para que isto ocorra, há a necessidade de usar grandes populações iniciais para a seleção, como será discutido no próximo item.

O comprimento médio das raízes das linhagens selecionadas e de IAC-24 e BH 1146, medido em 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 na Tabela 4. Considerando-se 3 mg/litro de Al³⁺, a linhagem 18 foi sensível, e os demais genótipos, tolerantes. Para 6 mg/litro de Al³⁺, com exceção da linhagem 17 e 18, as demais foram tolerantes. As linhagens 19, 20, 21 e 22 e as duas cultivares podem ser consideradas como muito tolerantes à toxicidade de alumínio, pois exibiram crescimento das raízes mesmo quando se adicionaram 10 mg/litro de Al³⁺.

Não se julgou necessária a apresentação dos ciclos das diferentes linhagens, pois embora houves-

TABELA 4. Comprimento médio das raízes das linhagens selecionadas de IAC 24 original e de BH 1146 medido após 72 horas de crescimento na solução nutritiva completa, que se seguiu a 48 horas de crescimento na solução de tratamento contendo quatro concentrações de alumínio.

Tratamentos	Concentrações de alumínio (mg/litro)			
	0	3	6	10
	----- mm -----			
IAC-24	83,8	56,8	21,4	7,4
BH 1146	105,2	74,6	49,1	37,4
L-15	68,2	52,6	15,5	0,0
L-16	48,0	27,9	15,1	0,0
L-17	67,3	37,6	0,0	0,0
L-18	22,5	0,0	0,0	0,0
L-19	62,1	13,2	24,4	14,7
L-20	43,9	8,5	29,0	2,1
L-21	22,3	5,5	7,2	1,4
L-22	39,6	4,7	10,7	10,3

se uma variação de precoce (100 a 120 dias) a médio (121 a 130 dias), de acordo com local e ano do experimento, não se observaram diferenças drásticas entre elas e a cultivar IAC-24.

Tamanho da população utilizada e sua relação com os resultados obtidos

O uso de grandes populações é uma das principais recomendações quando se utiliza indução de mutação no melhoramento de plantas (Brock, 1977). Esta recomendação é de especial importância nos trabalhos em que se deseja obter resistência a doenças, pois autores têm observado que a maioria dos mutantes resistentes obtidos são acompanhados de mudanças indesejáveis em outras características agrônomicas (Hanis et al., 1977). Este princípio foi seguido neste trabalho, iniciado com a seleção na geração M_2 , composta por 283.000 plantas. Este foi um dos fatores que permitiu a seleção de quatro linhagens imunes à ferrugem, sendo uma delas moderadamente resistente ao oídio, em comparação com a cultivar original que é suscetível a estas duas doenças. Para a mancha-foliar, o sucesso foi menor, pois

obteve-se apenas uma ligeira vantagem com a seleção de três linhagens suscetíveis, quando comparadas à IAC-24, que é altamente suscetível. Isto pode ter ocorrido devido à maior complexidade envolvida nos agentes causais desta doença e pelas condições de umidade favoráveis ao desenvolvimento da doença nos ensaios instalados com irrigação por aspersão.

Além de resistência à doença, o que se procurava neste trabalho era a manutenção das características básicas da cultivar original IAC-24. Os resultados indicaram dois tipos de situação: Em um, obteve-se resistência à ferrugem (linhagem 17, por exemplo), mas existiram modificações indesejáveis na produção (menor do que IAC-24), e perda de tolerância a Al^{+3} nos níveis de 6 e 10 mg/litro de Al^{+3} . No segundo caso, como, por exemplo, nas linhagens 21 e 22, a resistência obtida não foi acompanhada destas modificações, mantendo-se, além da produção e tolerância a Al^{+3} , a mesma altura da planta, baixa porcentagem de acamamento, e componentes da produção (com exceção da linhagem 21 em que se observou maior número de grãos por espiguetas). Estas duas situações são comuns em trabalhos de indução de mutação, e já haviam ocorrido em mutantes resistentes à ferrugem obtidos no Brasil (Veiga et al., 1982). Como se sabe, isto ocorre por não ser possível dirigir a indução de mutação, e sim o processo de seleção. Mais uma vez, fica então estabelecida a necessidade de, ao se utilizar esta técnica no melhoramento de plantas, utilizar grandes populações. Deste modo, vários mutantes fenotipicamente iguais mas de possível origem genética diferente podem ser selecionados, elegendo-se, dentre eles, nos ensaios de produção, o que melhor atender ao objetivo do melhorista, como ocorreu nesta e em outras pesquisas com trigo (Hanis et al., 1977). Além disto, como se discutiu acima, estes mutantes podem entrar em programas de cruzamento, com outras cultivares, ou cruzadas com outras linhagens mutantes, resultando em novas cultivares, como foi o caso da cultivar de trigo IAS 63, citada no início deste trabalho.

CONCLUSÕES

1. Através da seleção efetuada em populações provenientes do tratamento com raios-gama em se-

mentes de IAC-24, suscetível à ferrugem-da-folha e ao oídio e altamente suscetível à mancha-da-folha, foram obtidas linhagens imunes à ferrugem-da-folha (L-16, L-17, L-21 e 22), moderadamente resistente ao oídio (L-16), e, com melhor reação, à mancha-da-folha (L-17, que foi suscetível em vez de altamente suscetível como no material original).

2. Dentre essas linhagens, duas (L-21 e L-22) mantiveram as características agronômicas básicas da cultivar original no que se refere à produção de grãos, à altura de plantas e à tolerância a alumínio, o que mostra as vantagens de tal técnica.

3. Entretanto, em outras duas linhagens, ocorreram alterações indesejáveis em algumas destas características, tais como menor produção (L-17) e menor tolerância a alumínio (L-16 e L-17).

AGRADECIMENTOS

À International Atomic Energy Agency, Viena, Austria, e à FAPESP, pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- BROCK, R.D. When to use mutations in plant breeding. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Manual on mutation breeding*. Vienna-Austria, 1977. Cap.13, p.213-219.
- CAMARGO, C.E.O. Melhoramento genético do trigo para irrigação de inverno nas condições do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas, Anais... Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.134-174.
- CAMARGO, C.E.O. Trigo. In: FURLANI, A.M.C.; VIEGAS, G.P. (Eds.). *O melhoramento de trigo no Instituto Agronômico de Campinas*. Campinas, IAC, 1993.p.431-488.
- CAMARGO, C.E.O.; OLIVEIRA, O.F. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. *Bragantia*, Campinas, v.40, p.21-31, 1981.
- CAMARGO, C.E.O.; RAMOS, V.J. Herdabilidades e associações entre número de grãos por espiguetas, altura das plantas e produção de grãos em populações híbridas de trigo, envolvendo diferentes fontes de nanismo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.24, n.12, p.1513-1521, 1989.
- CAMARGO, C.E.O.; FELÍCIO, J.C.; FREITAS, J.G.; BARROS, B.C.; CASTRO, J.L.; SABINO, J.C. Melhoramento do trigo: XII. Comportamento de novas linhagens e cultivares no Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v.44, n.2, p. 669-685, 1985.
- GOMES, E.P.; IGNACZAK, J.C. Trigo: Cultivares IAS 63 e IAS 64. Pelotas,RS: EMBRAPA, 1974. 15p. (Boletim Técnico, 94).
- HANIS, M.; HANISOVÁ, A.; KNYTL, V.; CERNY, J.; BENC, S. Induced mutations for disease resistance in wheat and barley. In: INDUCED MUTATIONS AGAINST PLANT DISEASES, 1977, Vienna-Austria. *Proceedings*. Vienna-Austria: International Atomic Energy Agency, 1977. p.347-357.
- MEHTA, Y. R. *Doenças do trigo e seu controle*. São Paulo: Ceres, 1978. 190p.
- MICKE, A.; DONINI, B.; MALUSZYNSKI, M. *Induced mutations for plant breeding*. Vienna-Austria: International Atomic Energy Agency, 1990. 41p. (Mutation Breeding Review, 7).
- MICKE, A.; DONINI, B.; MALUSZYNSKI, M. *Les mutations induites en amelioration des plantes*. Vienna-Austria: International Atomic Energy Agency, 1993. 43p. (Mutation Breeding Review, 3).
- MOORE, D.P.; KRONSTAD, W.E.; METZGER, R.J. Screening wheat for aluminum tolerance. In: WORKSHOP ON PLANT ADAPTATIONS TO STRESS IN PROBLEM SOILS, 1976. Beltsville, Maryland. *Proceedings...* [S.l.:s.n.], 1976. p.287-295.
- SCHRAMM, W.; FULCO, W.S.; SOARES, M.H.G.; ALMEIDA, A.M.P. Resistência de cultivares de trigo em experimentação ou cultivo no Rio Grande do Sul às primeiras doenças fúngicas. *Agronomia Sulriograndense*, Porto Alegre, v.10, p.31-39, 1974.
- VEIGA, A.A.; FELICIO, J.C.; CAMARGO, C.E.O.; BARROS, B.C.; TULMANN NETO, A.; MENTEN, J.O.M.; ANDO, A. Avaliação de mutantes de trigo (*Triticum aestivum*) obtidos por radiação gama resistentes à ferrugem do colmo (*Puccinia graminis tritici*). *Energia Nuclear e Agricultura*, Piracicaba, v.4, p.59-70, 1982.