

MELHORAMENTO DO TRIGO

*Luiz Carlos Federizzi*¹

*Pedro Luis Scheeren*²

*José Fernandes Barbosa Neto*¹

*Sandra C. K. Milach*¹

*Marcelo Teixeira Pacheco*³

A domesticação do trigo foi fundamental para que o homem produzisse grande quantidade de alimento, o que possibilitou

¹ Eng.-Agrônomo, M.S., Ph.D., Professores do Departamento de Plantas de Lavoura, Faculdade de Agronomia, Cx. Postal 776, 90501-970 Porto Alegre, RS. Pesquisadores do CNPq. E-mail: federizzi@vortex.ufrgs.br, milach@vortex.ufrgs.br e jfbn@pro.via-rs.com.br

² Eng.-Agrônomo, M.S., D.S., Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, Embrapa, Cx. Postal 569, 99001-970 Passo Fundo, RS. E-mail: scheeren@cnpt.embrapa.br

³ Eng.-Agrônomo, M.S., Professor do Departamento de Plantas de Lavoura, Faculdade de Agronomia, Cx. Postal 776, 90501-970 Porto Alegre, RS. E-mail: marpac@vortex.ufrgs.br

a formação de cidades, o aumento da população e a rápida evolução cultural. Grande proporção dos elementos essenciais à dieta humana está presente nos grãos de trigo. Além do alto valor nutricional, o baixo conteúdo de água nos grãos facilitou o transporte e o processamento. O trigo apresenta ampla adaptação, sendo cultivado em áreas com 65° latitude norte até 45° latitude sul. Entretanto, apresenta maiores dificuldades de adaptação em zonas tropicais.

O Brasil já foi o principal produtor de trigo da América Latina, sendo um grande exportador deste cereal até a primeira década de 1800. Por uma série de razões econômicas/comerciais e técnicas, especialmente susceptibilidade à ferrugem-do-colmo, o País passou a ser um importador sistemático de grãos de trigo.

A cultura do trigo tem se caracterizado por ciclos bem definidos de expansão e retração, seguindo as políticas governamentais de estímulo e desestímulo, e a área semeada com o cereal tem oscilado bastante. Entretanto, os rendimentos de grãos obtidos com o trigo têm sido crescentes, demonstrando a eficiência dos programas de melhoramento genético em desenvolver variedades com alto potencial de rendimento e com qualidade de panificação similar à dos trigos argentinos e canadenses. Com o atual potencial de rendimento das novas variedades, o Brasil tem condições técnicas de produzir todo o trigo necessário para seu consumo interno, basta estabelecer uma política de estímulo continuada.

Os programas de melhoramento genético tiveram muito sucesso no desenvolvimento de grande número de variedades com melhor tipo agrônomo, resistência às principais moléstias, melhor qualidade panificável, tornando o trigo uma cultura viável tecnicamente.

CLASSIFICAÇÃO BOTÂNICA

O trigo pertence à família *Gramineae*, tribo *Triticeae*, subtribo *Triticinae*, que é o grupo mais importante que deu origem ao trigo e centeio. As diferentes espécies de trigo (Quadro 1) formam uma série poliplóide, com número básico de cromossomos igual a 7 e constituídos por três níveis de ploidia: diplóides com $2n=2x=14$; tetraplóides com $2n=4x=28$ e hexaplóides com $2n=6x=42$ cromossomos. As principais espécies de cada grupo de ploidia são apresentadas no Quadro 1.

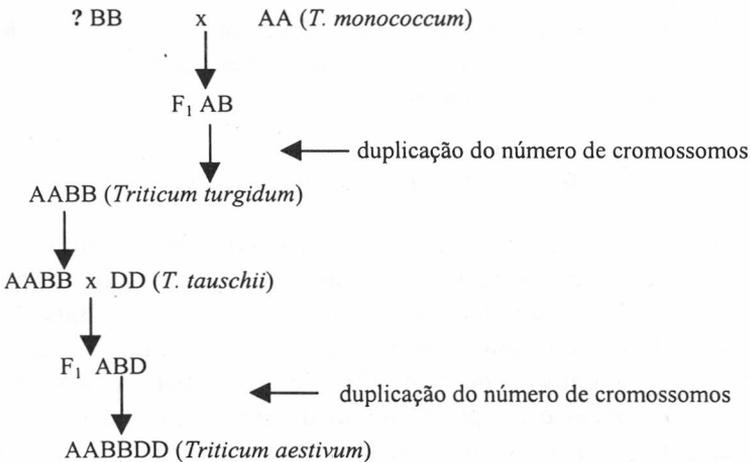
Quadro 1 - Série de poliplóides que constituem as espécies de Triticum, com nível de ploidia, genoma, número de cromossomas e tipos existentes

Espécie	Genoma	Número de cromossomas	Tipo Silvestre	Cultivado	
				c/casca	s/casca
1. Diplóides					
<i>T. monococcum</i>	AA	14	*	-	
<i>T. speltooides</i>	SS	14	*	-	-
<i>T. tauschii</i>	DD	14	*	-	
2. Tetraplóides					
<i>T. durum</i>	AABB	28	-	-	*
<i>T. dicoccum</i>	AABB	28	*	-	*
<i>T. turgidum</i>	AABB	28	*	-	*
<i>T. timophevii</i>	AAGG	28	*	*	*
3. Hexaplóides					
<i>T. aestivum</i>	AABBDD	42	-	-	*
<i>T. spelta</i>	AABBDD	42	*	-	-
<i>T. compactum</i>	AABBDD	42	-	-	*
<i>T. sphaerococum</i>	AABBDD	42	-	-	*

* presente; - ausente.

As evidências indicam que as espécies diplóides tiveram origem única com posterior acúmulo de divergência, apresentando atualmente completa barreira reprodutiva. Assim, os híbridos entre as espécies diplóides são completamente estéreis e essas espécies apresentam evolução divergente.

Estudos realizados do pareamento na meiose de híbridos obtidos pelo cruzamento entre espécies diplóides e tetraplóides indicaram que os trigos tetraplóides são anfiplóides, contêm dois conjuntos de cromossomos, cada um derivado de um ancestral diplóide diferente. Da mesma forma, as espécies hexaplóides contêm três conjuntos distintos de cromossomos, dois derivados de um trigo tetraplóide (provavelmente *T. turgidum*) e um conjunto derivado de um trigo diplóide (*T. tauschii*) (Breima e Graur, 1995), conforme diagrama abaixo:



Todas as espécies poliplóides apresentam pareamento regular e formação de bivalentes na meiose e, em consequência, herança dissômica. O pareamento na meiose é totalmente entre cromossomos homólogos, pertencentes ao mesmo genoma. O pareamento de homólogos é controlado geneticamente por um gene localizado no braço longo do cromossomo 5B, o que assegura segregação regular, alta fertilidade e estabilidade genética (Riley e Kempna, 1963).

As espécies hexaplóides, ao contrário das espécies diplóides, tiveram evolução convergente, de maneira que cruzamentos entre elas resultaram em híbridos completamente férteis. Podem ser consideradas uma única espécie biológica.

A origem do genoma A é conhecida e é proveniente da espécie diplóide *T. monococcum*. O genoma D, presente nas espécies hexaplóides, é originário da espécie diplóide *T. tauchii* (anteriormente denominado *Aegilops squarrosa*). Nenhuma das espécies diplóides possui genoma B similar àquele presente nas espécies poliplóides. Grande número de aspectos tem sido utilizado na comparação entre os genomas, especialmente morfológicos, genéticos e moleculares, sem conclusões definitivas. Provavelmente este genoma sofreu maiores modificações na forma diplóide ou mesmo depois de sua incorporação nas formas hexaplóides.

A espécie tetraplóide *T. timophevii* tem genoma AAGG, não encontrado em nenhuma outra espécie de trigo. Acredita-se que este genoma seja originário de modificações genéticas de uma espécie diplóide, provavelmente *T. speltoides*.

Das espécies hexaplóides, as mais antigas são as selvagens *T. spelta*, que possuem o genoma AABBDD e apresentam os grãos aderidos à casca.

O trigo apresenta flores perfeitas, sendo, portanto, uma espécie autógama, em que a fecundação cruzada ocorre em baixa frequência e em condições especiais de ambiente.

ORIGEM E DOMESTICAÇÃO

O trigo é uma das culturas mais antigas do mundo e, junto com a cevada, foi essencial para o desenvolvimento da agricultura e da civilização atual. Antigas cidades e civilizações, como da Babilônia, da Grécia, de Creta, do Egito e de Roma, estavam baseadas na cultura do trigo. A área geográfica de distribuição e de domesticação do trigo coincide com o local e tempo do início da civilização do homem e início da agricultura. O trigo, pré-adaptado à domesticação, possuía

características importantes, como: sementes grandes, rápida germinação, ciclo anual e autofecundação, levando à rápida fixação dos mutantes desejáveis, o que deve ter influenciado os primeiros coletores de alimentos. O centro de origem e domesticação do trigo vai das montanhas de Zagros (Irã – Iraque) até as montanhas Taurin, na Turquia, e as montanhas a sudoeste do Mar Mediterrâneo (Feldman, 1976).

Os grãos de trigo mais antigos, encontrados em escavações arqueológicas, datam de 7.500 a 6.500 anos a.C., na Síria, no Irã e Iraque. No quinto milênio a.C., o trigo cultivado diplóide, *T. monococcum*, espalhou-se pela Europa central e do norte através dos vales dos rios Danúbio e Reno. Esta espécie de trigo apresenta os grãos com casca e foi a principal cultura até o início do primeiro milênio a.C., quando foi completamente substituído pelo *T. turgidum*. Este tipo de trigo apresenta melhor debulha e grãos desprovidos de casca, sendo assim uma forma mais evoluída que foi rapidamente adotada pelos agricultores.

Os primeiros indícios de trigos hexaplóides são de *T. spelta*, enquanto o *T. aestivum*, provavelmente, teve sua origem e domesticação logo após à dos trigos diplóides e tetraplóides. Nos sítios arqueológicos, aparecem desde o sétimo milênio a.C. As espécies hexaplóides foram cultivadas nas áreas irrigadas da Mesopotâmia e oeste do Irã entre 6.500 e 5.000 a.C. Somente após 5.000 a.C. foi cultivado no vale do Nilo e na parte central e oeste do Mediterrâneo. Enquanto as espécies tetraplóides são adaptadas aos invernos amenos e verões secos, a adição do genoma D de *T. tauchii* aumentou a adaptação do trigo hexaplóide, permitindo, dessa forma, maior disseminação. As principais mudanças com a domesticação do trigo foram: sementes sem casca (fator Q), perda da deiscência natural, uniformização e sincronia na germinação/florescimento/maturação, espigas grandes e maior tamanho dos grãos.

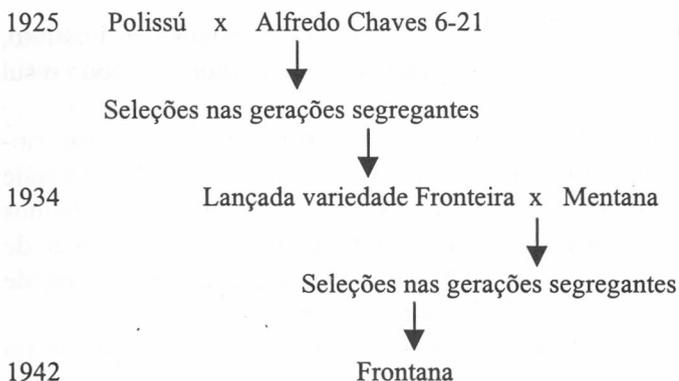
○ MELHORAMENTO DE TRIGO NO BRASIL

Embora o trigo tenha sido introduzido no Brasil logo após seu descobrimento, a criação de novas variedades só teve início em 1914, quando o químico Jorge Polissú selecionou em Nova Tirol, PR, uma variedade diferente de sementes provenientes da região de Guaporé, no Rio Grande do Sul.

Em 1919, o Ministério da Agricultura criou as duas primeiras Estações Experimentais, a de Ponta Grossa, no Paraná, e a de Alfredo

Chaves (hoje Veranópolis), no Rio Grande do Sul, as duas com o objetivo primário de desenvolver novas variedades de trigo. Em Alfredo Chaves, foi contratado o agrônomo Carlos Gayer, da Tchecoslováquia, que introduziu grande quantidade de germoplasma de várias partes do mundo e realizou seleções nos trigos coloniais da região. Uma série de linhagens, com a denominação de Alfredo Chaves, foi identificada e separada por Gayer. Já o trigo selecionado por Polissú foi levado, em 1922, para a Estação Experimental de Ponta Grossa, onde foi resselecionado e recebeu o nome de PG 1. Nesta estação trabalhavam, na época, no melhoramento de trigo, Gil Stein Ferreira, Vespertino Marcondes França e Hélio Pimentel. Os genótipos selecionados em Alfredo Chaves e Ponta Grossa deram origem ao melhoramento genético de trigo no Brasil.

Em 1922, o governo brasileiro convidou o eminente geneticista sueco Hermann Nilson-Ehle para trabalhar no melhoramento de trigo no Brasil. Como o Prof. Nilson-Ehle já tinha idade avançada, indicou seu assistente, Dr. Iwar Beckman, que chegou ao Brasil em 1924 e foi para a Estação Experimental de Alfredo Chaves. Em 1925, Beckman realizou os primeiros cruzamentos de trigo no País e, neste mesmo ano, foi transferido para a Estação Experimental de São Luiz Gonzaga (recém-criada), onde continuou realizando cruzamentos até 1929, quando foi transferido para a Estação Experimental da Fronteira, em Bagé. Lá Beckman deu continuidade a seu trabalho e fez uma série de estudos de genética, bem como desenvolveu diversas variedades mais precoces, com excelente rendimento de grãos. Uma de suas variedades foi um marco não só para o Brasil, mas também para grande número de programas de melhoramento de trigo no exterior. A variedade *Frontana* (veja genealogia a seguir) é de longe a variedade brasileira de trigo mais utilizada em cruzamentos no exterior, desde seu lançamento em 1942, porque possui, entre outras características, dois genes para resistência de planta adulta à ferrugem-da-folha (Lr 15 e Lr 34).



✕ A variedade Frontana combinou, na época, uma série de características importantes como ciclo mais precoce, resistência ao alumínio tóxico do solo, porte mais baixo e resistência às principais moléstias como ferrugem-da-folha e do colmo. É ainda cultivada em algumas regiões do Rio Grande do Sul.

Em Alfredo Chaves, os trabalhos continuaram com Benedito de Oliveira Paiva, que deu ênfase especial ao desenvolvimento de linhas com ampla adaptação, isto é, na época, variedades resistentes ao alumínio presente na maioria dos solos onde o trigo era cultivado. Posteriormente, Victor Alves Pacheco continuou os trabalhos de Paiva, que foi transferido para a Estação Experimental de Júlio de Castilhos. Um grande número de variedades foram desenvolvidas em Alfredo Chaves, sendo as principais, na época, Riosulino e Trintecino (1936).

Em 1934, a Secretaria da Agricultura do Estado de Minas Gerais criou o Instituto Agrônomico em Belo Horizonte, onde trabalhos de melhoramento de trigo foram desenvolvidos por Idelfonso Correa. Os principais trigos criados em Belo Horizonte foram Horto e BH 1146, ambos originários do mesmo cruzamento (Fronteira x Mentana) x PG 1. Mais tarde, em 1939, o Ministério da Agricultura criou a Estação Experimental de Patos de Minas, MG, onde trabalharam com trigo Moacir Viana de Novais e, mais tarde, Carlos Eugenio Thibau.

Apesar de o trigo ter sido semeado pela primeira vez no Brasil no Estado de São Paulo, os primeiros resultados com trigo foram obtidos pelo professor Carlos Teixeira Mendes, na ESALQ, em 1935. Também neste ano, o Instituto Agrônomico de Campinas, através de sua seção de genética, organizou e testou uma coleção de trigo recebida dos EUA. Os primeiros cruzamentos de trigo foram

realizados no IAC em 1937. Uma das variedades criadas no Instituto, IAC 5- Maringá, teve ampla utilização pelos agricultores de todo o sul do Brasil.

A primeira Estação Experimental inserida no planalto rio-grandense (o trigo posteriormente foi mais cultivado no Rio Grande do Sul) foi inaugurada em Júlio de Castilhos, em 1937. Os trabalhos de melhoramento de trigo iniciaram-se em 1940, sob a coordenação de Benedito de Oliveira Paiva, onde foi criada a variedade Toropi, de ciclo longo e de excelente tolerância ao alumínio tóxico do solo.

Em 1938, o Ministério da Agricultura voltou a investir no melhoramento genético do trigo, com a criação da Estação Experimental de Passo Fundo. Em 1943, o Ministério criou cinco institutos de pesquisa. O Instituto Agrônômico do Sul foi criado em Pelotas, RS, e passou a coordenar os trabalhos desenvolvidos nas Estações Experimentais de Passo Fundo, Rio Caçador, Ponta Grossa e Curitiba. No Instituto de Pesquisa Agrícola e Experimentação do Sul (IPEAS), em Pelotas, sob a liderança de Ady Raul da Silva, foram desenvolvidas e lançadas comercialmente variedades de trigo de sucesso em grande número, como IAS 3-São Borja (1957), IAS 13-Passo Fundo (1959) e IAS 20-Iassul (1963).

Na Estação Experimental de Alfredo Chaves, após os trabalhos de Vitor Alves Pacheco, em 1951, as atividades de melhoramento de trigo passaram à liderança de Orlando Carlos Nobre, que criou uma série de variedades, como Cotiporã (1965) e Lagoa Vermelha (1969). Recentemente, João Manuel Pompeu desenvolveu as variedades C-33 e Vacaria (1975). Infelizmente, os trabalhos de melhoramento de trigo foram lentamente desativados naquela Estação Experimental, onde nasceram os trabalhos de melhoramento genético no Brasil.

Em 1956, os trabalhos de melhoramento de trigo na Estação Experimental de Júlio de Castilhos passaram à coordenação do Dr. Mario Bastos Lagos. O Dr. Lagos, além de criar uma série de variedades de sucesso, como Nobre e Jacuí, com excelente adaptação e aceitação pelos agricultores, teve uma função maior e fundamental na formação e no treinamento de grande número de melhoristas. Muitos dos melhoristas de trigo em atividade começaram seus trabalhos com o Dr. Lagos.

Na Estação Experimental de Bagé, os trabalhos com trigo foram conduzidos por Beckman, até sua morte em 1971. Beckman foi, sem dúvida, o maior melhorista de trigo do Brasil. Foi inovador, buscando soluções antecipadas para os problemas. Profundo conhecedor de genética e da planta de trigo, desenvolveu variedades que mudaram o

patamar de rendimento e o tipo agronômico do trigo. Após a morte de Beckman, os trabalhos de melhoramento de trigo foram conduzidos por Leo de Jesus Antunes Del Duca, até sua ida para a Embrapa, em 1980 (os trabalhos de melhoramento de trigo foram encerrados em Bagé).

A Secretaria de Agricultura do Rio Grande do Sul tinha importante trabalho de melhoramento de trigo na Estação Experimental de Encruzilhada do Sul, onde, sob a liderança de Ivo Mendes, foram criadas variedades de ciclo longo, como Encruzilhada, Don Marco e Don Feliciano. Outra estação importante foi a de São Borja, onde trabalharam no melhoramento de trigo Alfeu Campos e Danilo Bohn.

Os trabalhos de melhoramento de trigo na Secretaria de Agricultura tiveram, por muitos anos, a coordenação geral de Julio Mascarenhas.

Recentemente, foram criados novos programas de melhoramento de trigo, como o Programa de Melhoramento Acelerado do Trigo (PAT), em abril de 1969, em convênio entre a Secretaria da Agricultura e a Fecotriço (Federação das Cooperativas de Trigo do RS). Neste programa, foram criadas algumas variedades como PAT 19 e PAT 7219. Em 1973, o convênio foi encerrado, e a Fundacep-Fecotriço continuou com os trabalhos na cidade de Cruz Alta. Grande número de variedades foi desenvolvido, sendo as principais CEP 11, CEP 17-Itapuã, CEP 21-Campos e CEP 24-Industrial. O programa continua em atividade atualmente e teve a participação de John Gibbler, Otoni Rosa, Carmine Rosito, Ricardo Matzembaker e Luiz Hermes Svoboda, entre outros.

Em 1973, o Instituto Agronômico do Paraná, em Londrina, iniciou um programa de melhoramento genético de trigo sob a liderança de Milton Alcover. Neste programa, foram desenvolvidas diversas variedades com a sigla IAPAR com amplo sucesso no Paraná, destacando-se: IAPAR 6-Tapejara, IAPAR 13-Caeté e IAPAR 29-Cacatau. Recentemente, os trabalhos tiveram a participação dos melhoristas Carlos Roberto Riede, Dionisio Brunetta e Luiz Alberto Lagrossi Campos.

Com a criação da EMBRAPA, iniciaram-se os trabalhos no Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (CNPTrigo), em 1975, tendo atuado na criação das variedades Augusto Carlos Bayer, Edar Peixoto Gomes, Cantídio Nicolau Alves de Sousa, João Carlos Soares Moreira, Otoni de Sousa Rosa, Sérgio Roberto Dotto, Francisco Lange, Milton Costa Medeiros e, recentemente, Pedro Luis Scheeren

e Leo de Jesus Antunes Delduca e, ainda, a citogeneticista Maria Irene Baggio de Moraes Fernandes. O CNPTrigo desenvolveu grande número de variedades com excelente tipo agrônômico e rendimento de grãos, como CNT 8, CNT 10, BR 14, BR 15, BR 23 e, recentemente, Embrapa 16 e outras. Além disso, o CNPTrigo ajudou a desenvolver os programas de trigo para o Paraná, Mato Grosso do Sul e para a região dos cerrados (Brasília, Goiás e Minas Gerais).

Em Cascavel, no Paraná, em 1976, a Organização das Cooperativas do Paraná (OCEPAR) iniciou um programa de melhoramento de trigo sob a liderança de John Gibbler, Manoel Carlos Bassoi e Francisco de Assis Franco. O programa da OCEPAR tem desenvolvido uma série de variedades de trigo para o Estado do Paraná, especialmente para solos sem alumínio tóxico, podendo ser destacado o cultivar OCEPAR 16.

Os trabalhos no IAC tiveram grande impulso com o retorno do Eng.-Agrônomo Carlos de Oliveira Camargo, que, juntamente com João Carlos Felício e Antônio Wilson Penteado Ferreira Filho, desenvolveu variedades de trigo adaptadas para o Estado de São Paulo, como IAC 13-Lorena.

Em Porto Alegre, na Faculdade de Agronomia da UFRGS, sob a liderança dos Profs. Fernando I. F. de Carvalho e Luiz Carlos Federizzi, foi realizado grande número de trabalhos básicos de genética e melhoramento envolvendo a cultura de trigo, e muitos dos melhoristas em atividade receberam seu treinamento na UFRGS.

Na Faculdade de Agronomia de Pelotas, Eduardo Algayer Osório realizou melhoramento de trigo em convênio com o CNPTrigo, do qual resultaram as variedades CNT 8 e CNT 10, entre outras. Recentemente, no Centro de Pesquisas Agropecuárias de Terras Baixas (CPATB), em Pelotas, o Dr. Vanderley da Rosa Caetano desenvolveu programa de melhoramento de trigo com o objetivo de criar variedades adaptadas às terras de várzea, normalmente utilizadas para o cultivo do arroz.

Dos programas importantes tradicionais do RS, só restam dois com grande atividade, o do CNPTrigo e o da Fundacep-Fecotrigio. O Programa da Secretaria da Agricultura do RS está praticamente desativado. Em 1996, foi lançada comercialmente a primeira variedade de trigo de uma empresa privada de melhoramento, a variedade OR 1, da empresa Ottoni Rosa Melhoramento de Sementes Ltda.

Em Santa Catarina, a Empresa de Pesquisa Agrícola de Santa Catarina (EMPAGRI) conduz programa de avaliação/competição de

cultivares de trigo a cargo do Eng.-Agrônomo Estanislau Davalos, que testa os materiais em vários locais para futuro lançamento naquele Estado.

No Paraná, continuam ativos os programas do Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR) e o CODDETEC (antiga OCEPAR); recentemente, em 1991, o CNPSoja iniciou um programa mais ativo de criação de novas variedades de trigo com Manoel Carlos Bassoi e Sergio Roberto Dotto.

No Estado de São Paulo, o programa de melhoramento de trigo continua ativo com a mesma equipe de pesquisadores.

No Centro de Pesquisas Agropecuárias do Cerrado (CPAC), da Embrapa, o programa de melhoramento genético de trigo, conduzido por José Maria Vilela de Andrade e Julio Cezar Albrecht, é voltado para a produção de variedades de trigo, principalmente para o sistema irrigado. Neste sistema, o potencial de rendimento e a resistência ao acamamento e às moléstias são as principais características que se pretende obter no melhoramento.

No Mato Grosso do Sul, especialmente na região de Dourados, a partir do final da década de 70 e, principalmente, durante a década de 80, importante programa de melhoramento foi conduzido pela EMBRAPA (UEPAE- Dourados e CNPT). Foram recomendados para cultivo, naquele período, vários cultivares de trigo, como BR 17, BR 18, BR 36, BR 40 e Embrapa 10. Atualmente, resta a experimentação varietal sob a responsabilidade de Paulo Gervini de Sousa e Joaquim Soares Sobrinho.

Em Minas Gerais, os trabalhos de melhoramento de trigo vêm sendo conduzidos pelo Prof. Moacil Alves de Souza, da Universidade Federal de Viçosa, e por Vanoli Fronza, da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG).

Para mais detalhes do referencial histórico, veja os excelentes trabalhos de Silva (1966), Osório (1982) e Lagos (1983). *

GERMOPLASMA

Por ser uma cultura antiga e ter uma série poliplóide de espécies, existem no trigo, segundo Harlan (1992), três *pools* gênicos bem definidos. O primeiro *pool* gênico, chamado de primário, compreende todas as espécies diplóides, tetraplóides e hexaplóides do gênero *Triticum*. No *pool* gênico secundário estão as espécies que podem ser cruzadas com o trigo e apresentam híbridos fertilizáveis, como as espécies dos gêneros *Secale*, *Agropyron* e *Haynaldia*. No

pool terciário estão as espécies que requerem técnicas especiais para a obtenção de híbridos férteis quando cruzadas com o trigo, como algumas espécies de *Hordeum*, *Elymus* e *Agropyron*.

Grande número de cultivares de trigo desenvolvidos através dos programas de melhoramento, bem como populações naturais coletadas em várias partes do mundo, estão em bancos de germoplasma disponíveis para os melhoristas, como no Vavilov Institute of Plant Industry, na Rússia (mais de 70.000 acessos), no CIMMYT, no México (mais de 30.000 acessos) e no Seed Storage National Center, nos Estados Unidos (mais de 30.000 acessos). Recentemente, os trabalhos desenvolvidos pelo CIMMYT homogeneizaram mais o germoplasma em uso nos diferentes programas de melhoramento de trigo no mundo. No Brasil, o Cenargen da Embrapa mantém uma coleção de trigos.

Cruzamento com as espécies diplóides tem aumentado o número de genes disponíveis para o melhoramento, especialmente quanto à resistência a moléstias.

OBJETIVOS DO MELHORAMENTO DE TRIGO

O primeiro grande objetivo no melhoramento de trigo no Brasil foi a adaptação aos solos ácidos. Pelo trabalho realizado por melhoristas pioneiros, os trigos brasileiros hoje são as melhores fontes de tolerância ao alumínio tóxico do solo. Na década de 70 e no início da década de 80, havia uma desconfiança de que a tolerância ao alumínio estava ligada a genes de baixo potencial de rendimento. Entretanto, trabalhos posteriores revelaram que esta hipótese era falsa.

Em termos cronológicos, o objetivo seguinte foi a resistência às moléstias, e grandes esforços foram realizados para obter resistência durável à ferrugem-do-colmo (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) e da folha (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*). As diminuições no rendimento observadas em trigo foram, freqüentemente, atribuídas a estas moléstias. Graças ao melhoramento genético, estas moléstias decresceram em importância nos últimos anos, mas continuam sendo objeto do melhoramento, especialmente a ferrugem-da-folha, devido às mudanças constantes na população do patógeno e ao aparecimento de novas raças.

Outra moléstia que foi objeto de melhoramento foi o oídio, causado pelo fungo *Blumeria graminis* f. sp. *Tritici*. Entretanto, esta moléstia tem ocorrência esporádica e diversas variedades em cultivo apresentam resistência a ela. As manchas foliares, como mancha-

bronzeadas (*Drechslera tritici-repentis*), mancha-salpicada das folhas (*Septoria tritici*), septoria-das-glumas (*Stagonospora nodorum*), mancha-estriada das folhas (*Xantomonas campestris* pv. *undulosa*), brusone (*Magnaporthe grisea*) e a mancha-marrom (*Bipolaris sorokiniana*), têm aumentado em importância, especialmente após a adoção do plantio direto pelos agricultores. Além disso, esses fungos são extremamente variáveis e é difícil a seleção de materiais resistentes a campo. Provavelmente, maiores níveis de tolerância estão associados a genes com efeitos menores sobre o caráter. Este grupo de moléstias tem recebido maior atenção a partir da década de 80.

As moléstias que causam danos às espigas do trigo, como giberela (*Giberella zeae*) e septorioses (*Stagonospora nodorum*), são importantes porque, além das perdas no rendimento, causam sérios prejuízos à qualidade dos grãos. Devido à ocorrência de primaveras amenas com alta umidade relativa do ar, essas moléstias têm ocorrido todos os anos no sul do Brasil. Grande trabalho de identificação de genótipos com maior tolerância foi realizado pelos melhoristas brasileiros, e os níveis de tolerância observados nos genótipos brasileiros são superiores àqueles verificados em outras partes do mundo. Todavia, os níveis de tolerância obtidos estão aquém daqueles necessários para os ambientes do sul do Brasil. A resistência a essas moléstias continua sendo um objetivo importante do melhoramento genético de trigo.

Outra moléstia que recebeu alguma atenção foi o mal-do-pé, causado pelo fungo *Ophiobolus graminis*, especialmente em solos que receberam altas doses de calcário. Entretanto, com a adoção do plantio direto e, principalmente, a rotação de culturas, esta moléstia decresceu de importância.

As demais moléstias, como cárie, provocada pelo fungo *Tilletia foetida*, e carvão, causada pelo *Ustilago tritici*, são hoje de ocorrência esporádica, e a maioria das variedades em cultivo apresentam bons níveis de resistência a elas.

No Paraná, em São Paulo e no Mato Grosso do Sul, o aparecimento recente da brusone-do-trigo (*Magnaporthe grisea*) tem feito com que os programas desses estados busquem a resistência a esta moléstia.

Algumas viroses são importantes em trigo, como o vírus do nanismo-amarelo da cevada (BYDV) e o vírus do mosaico do trigo. Esses vírus já foram objetivos primários do melhoramento de trigo, mas, com o controle biológico do agente transmissor, o pulgão-verde dos cereais (*Schizaphis graminis*) tem decrescido de importância.

Bacterioses, causadas principalmente por *Xantomonas campestris* pv. *undulosa*, têm crescido em importância nos últimos anos e são cada vez mais frequentes, entretanto pouco melhoramento tem sido realizado no Brasil para combatê-las.

Com relação aos caracteres relacionados ao tipo agrônômico da planta, um dos primeiros objetivos foi a redução do ciclo total da planta. Beckman foi o primeiro melhorista a obter uma variedade precoce para escapar da ferrugem-do-colmo que aparecia mais tarde. Os trigos precoces, mais adiante, revelaram-se fundamentais para a rápida expansão da soja em sucessão ao trigo. Atualmente, continua sendo um caráter importante e todas as variedades em cultivo são precoces. Outro objetivo importante foi a redução da estatura da planta. Os trigos antigos tinham em média de 130 a 150 cm. A variedade Frontana foi uma das mais baixas entre as antigas. Foi desenvolvida uma série de variedades de porte baixo, como IAS 54, IAS 55, BR 14, BR 15 e BR 23, que tinham porte inferior a 90 cm. Também, variedades introduzidas nos Estados do Paraná, de São Paulo e de Mato Grosso do Sul tinham porte baixo. Atualmente, a maioria das variedades em cultivo tem de 100 a 120 cm de estatura no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina e menos de 100 cm nos demais estados. Apesar de milhares de cruzamentos terem sido realizados com genótipos de porte baixo, especialmente com variedades mexicanas, este objetivo ainda não foi totalmente conseguido na Região Sul do Brasil. Pretende-se atualmente obter plantas baixas, com 75 a 90 cm, em ambientes de boa expressão do caráter.

A partir da privatização da comercialização do trigo no Brasil, em 1990, a qualidade de panificação tornou-se recentemente um dos principais objetivos do melhoramento de trigo. Com a privatização da compra de trigo, os programas se viram, subitamente, competindo com o trigo de excelente qualidade disponível no mercado internacional. A mudança dos objetivos foi rápida e de grande sucesso, especialmente para os estados do sul do Brasil, onde havia menos disponibilidade das variedades de qualidade superior. Em pouco tempo, foram lançadas algumas variedades, como Embrapa 16, Embrapa 40 e Embrapa 49, CEP 24, Embrapa 52, Embrapa 119, OR 1 e Fundacep 29, que apresentam qualidade superior de panificação. A partir do início da década de 90, a qualidade passou a ser determinante para o sucesso de qualquer nova variedade a ser lançada comercialmente. Outro fator que determina a qualidade final de panificação é a germinação na espiga, que tem recebido atenção especial dos programas de melhoramento de trigo.

↳ A resistência/tolerância à geada, especialmente durante a fase reprodutiva, é um objetivo importante para a Região Sul e, notadamente, para as regiões oeste e norte do Estado do Paraná. Entretanto, devido às dificuldades da padronização dos efeitos da geada na seleção, o caráter é de difícil seleção e os dados obtidos têm pouca repetibilidade, variando com os anos. Têm sido observadas diferenças entre genótipos por ocasião da ocorrência de geadas fortes.

Nas regiões menos tradicionais do centro do Brasil, como os cerrados, a tolerância ao calor e a temperaturas altas durante a fase de enchimento dos grãos tem sido um objetivo importante. Trabalhos vêm sendo realizados com o intuito de selecionar genótipos mais tolerantes e de entender os mecanismos de herança do caráter.

O programa do CPATB, em Pelotas-RS, tem como objetivo a seleção de genótipos de trigo resistentes em casos de encharcamento do solo e má drenagem.

Alguns melhoristas iniciaram, recentemente, trabalhos com o objetivo de obter variedades de trigo com duplo propósito: ser pastoreada pelos animais e, mais tarde, ser colhida para utilização dos grãos. Entretanto, devido à duração da estação de crescimento do trigo no Brasil, é difícil prever qualquer sucesso neste sentido.

O objetivo primário de qualquer programa de melhoramento tem sido o rendimento de grãos, e são evidentes os ganhos obtidos. Estimativas com dados dos últimos trinta anos revelam ganhos no Brasil de 67 kg/ha/ano ou de 3,82%, comparado aos melhores do mundo (Federizzi et al., 1997).

MÉTODOS DE MELHORAMENTO DO TRIGO

O trigo foi introduzido no Brasil pelos antigos imigrantes europeus e, por ser uma espécie autógama, as variedades são lançadas como linhas puras e, portanto, homogêneas. O melhoramento genético de trigo iniciou-se com a seleção das variedades locais, com a introdução de variedades e, finalmente, com a hibridação.

Seleção em Populações Locais

As primeiras linhagens de importância, Alfredo Chaves, foram selecionadas por Gayer nos anos 20 a partir de variedades locais utilizadas pelos agricultores italianos da região. Também, a variedade PG-1 foi selecionada em antigas variedades empregadas pelos agricultores da região de Guaporé, RS.

Introduções de Variedades

Várias foram as tentativas de introdução direta de variedades cultivadas em outros países, contudo, como o cultivo de trigo se restringia à Região Sul do Brasil, onde predominavam solos ácidos com altos teores de alumínio tóxico, todas as variedades sem resistência não se adaptaram bem e tinham baixo rendimento de grãos. Somente a variedade Tifton, seleção do cultivar Tifton 72-59, dos EUA, foi lançada comercialmente no sul do Brasil, com distribuição restrita. Algumas variedades mais antigas, como Buck Manantial, Centenário, Multiplicación 14, Pergamino Gaboto e Riosulino, vieram da Argentina e do Uruguai e tiveram pouca expressão no Brasil (Sousa, 1994).

Somente com a expansão da cultura do trigo para solos sem alumínio, em latitudes acima do paralelo 24, é que as introduções diretas de variedades tiveram maior importância, especialmente as variedades de porte baixo, originárias do programa do CIMMYT, do México, como Anahuac 75 e Jupateco 73, que tiveram grandes áreas de cultivo, principalmente na região norte do Paraná. Merecem destaque os trigos de origem mexicana BR 18, Ocepar 16, com expressiva área cultivada (39%) no Estado do Paraná, em 1997.

Hibridação

A realização de cruzamentos com trigo começou em 1925, com Beckman, e, desde então, têm sido amplamente utilizados nos programas de melhoramento de trigo. O desenvolvimento de populações segregantes através de hibridações de diferentes genitores requer um planejamento adequado especialmente quanto:

- a) à definição dos objetivos;
- b) à seleção dos genitores;
- c) aos tipos de cruzamentos; e
- d) ao método de condução de populações segregantes.

Definição de objetivos

A definição clara dos objetivos em termos socioeconômicos e técnico-científicos é fundamental para o sucesso do programa de melhoramento genético de trigo. É salutar escrever os objetivos com bases concretas onde está o programa e aonde se deseja chegar. Uma maneira fácil é fazer uma lista dos principais caracteres de interesse,

com os parâmetros conhecidos atuais e com os parâmetros a serem alcançados.

Seleção dos genitores

Esta é a etapa fundamental para o sucesso do programa. É a variabilidade, criada com os cruzamentos, que vai determinar o limite do progresso a ser atingido. Existem várias maneiras de escolher os genótipos que vão participar dos cruzamentos. Pode-se principalmente se basear:

na diversidade genética-origem: os pais são cruzados com base na diferença de origem geográfica. Foi importante no início dos programas de melhoramento, quando a variabilidade geográfica era sinônimo de variabilidade genética. Exemplo deste tipo de cruzamento, utilizando este conceito, foi a tentativa de cruzar trigos de inverno com trigos de primavera;

nos genótipos complementares: os genótipos a serem cruzados são escolhidos com base nos caracteres fenotípicos, de maneira que a junção de caracteres favoráveis presentes em ambos os genitores seja mais próxima do tipo ideal desejado pelo melhorista. Este tipo de cruzamento tem por objetivo a seleção dos indivíduos transgressivos, diferentes dos genitores, devido à recombinação gênica. Esta tem sido a mais popular forma de escolher os genótipos e cruzamentos a serem realizados nos programas de melhoramento de trigo;

em genes específicos: a incorporação de um genótipo no bloco de cruzamentos e sua utilização em combinações, às vezes, são devidas à presença de um ou poucos genes de interesse. Este procedimento implica conhecer primeiramente a constituição genética dos genitores. Como exemplo cita-se a participação de genótipos portadores de genes de resistência a moléstias e baixa estatura;

na capacidade combinatória: genótipos com alta capacidade combinatória produzem progênes superiores sempre que são utilizados em cruzamentos. Existem várias técnicas estatísticas para estimar a capacidade combinatória dos genótipos, mas são, na sua grande maioria, de difícil implementação nas rotinas dos programas de melhoramento. Métodos alternativos têm sido sugeridos (Gandin et al., 1983), mas de pouca utilização. É muito comum entre os melhoristas de trigo a descrição de genótipos com alta capacidade de combinação, que, na maioria dos cruzamentos, propiciam progênes altamente superiores no programa. Este fato está baseado em uma

avaliação empírica, na experiência, depois de muitos anos de observações em campo; e *no comportamento per se*: este tipo de cruzamento tem sido amplamente utilizado, principalmente nos programas de melhoramento dos países desenvolvidos. Os melhores genótipos são cruzados entre si, de maneira a garantir progênies-elite, sem perder a adaptação ou a combinação dos genes superiores. A definição de um genótipo agronomicamente superior pode variar de melhorista para melhorista, entretanto, o desempenho em ensaios regionais é uma boa indicação, normalmente utilizada como critério para a escolha dos genitores ou das variedades recém-lançadas comercialmente ou de linhas-elite do programa. Exemplo deste tipo de cruzamento e de suas conseqüências pode ser visto em Rasmusson e Philipps (1997).

Tipos de cruzamentos

A probabilidade de sucesso não é aumentada pelo uso de complexos sistemas de cruzamentos, mas sim de uma cuidadosa seleção dos genitores. Entretanto, a escolha do sistema de cruzamento adequado permite atingir os objetivos do programa com economia de tempo e de dinheiro. O sistema de cruzamento utilizado pode ser dividido em dois grandes grupos (Borojevic, 1990), conforme visto a seguir.

Cruzamento divergente

Genótipos com grande distância genética são cruzados com o objetivo de obter recombinantes superiores aos genitores. Os principais sistemas de cruzamentos deste grupo são:

Cruzamento simples: este método compreende o cruzamento de somente dois genótipos entre si. Se os genitores são cuidadosamente selecionados, progênies superiores possuindo características dos pais podem ocorrer com alta freqüência na geração F_2 . Grande número de variedades de trigo foi obtido, no Brasil, pela combinação de dois genitores, a exemplo de Frontana= Fronteira/Mentana.

Em programas mais avançados, têm sido empregados cruzamentos dialélicos, isto é, todos os cruzamentos simples possíveis entre um grupo seletivo de variedades. Normalmente, este tipo de cruzamento é empregado para estudos de genética e para realizar o cruzamento de um genótipo superior com outro superior. No Brasil, este tipo de cruzamento não é muito empregado porque, na maioria

das vezes, requer realização de muitos cruzamentos desnecessários, além de substancial demanda de tempo e de recursos financeiros.

Cruzamento de triplos: quando a incorporação de caracteres de três diferentes genótipos em uma única população segregante é desejada, é utilizado este tipo de cruzamento:

$$\begin{array}{c} A \times B \\ \downarrow \\ F_1 \times C \end{array}$$

Normalmente, este tipo de cruzamento é simbolizado por $(A \times B) \times C$ ou $A/B//C$. A escolha do genótipo C é de fundamental importância e deve ser o de melhor comportamento ou com maior número de caracteres desejáveis, por participar com 50% do germoplasma, enquanto os genótipos A e B participam com 25% cada. Muitas variedades no Brasil resultaram deste tipo de cruzamento, a exemplo de Nobre = Colotana 824-51/ Yakitana 54 // Colotana 296-52.

Uma das variações possíveis deste tipo de cruzamento é a utilização de um ou dois retrocruzamentos com um dos genitores, da seguinte forma:

$$\begin{array}{c} A \times B \\ \downarrow \\ F_1 \times A \end{array}$$

que pode ser representado por $A/B//A$ ou ainda A^2/B . Este tipo de cruzamento é indicado quando os genitores apresentam grandes diferenças fenotípicas. Um ou dois retrocruzamentos com o genitor mais adaptado reduz a variabilidade, eliminando os tipos menos adaptados da população segregante. Diversas variedades de trigo brasileiras foram o resultado deste tipo de cruzamento, a exemplo de BR 24 = IAS 58/Eagle//IAS 58.

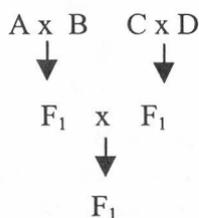
Todos têm em comum o fato de que, no primeiro cruzamento, um dos genitores não é brasileiro, por isso foi realizado um ou dois retrocruzamentos com material mais adaptado.

Cruzamentos sucessivos: normalmente utilizado para a incorporação de características de mais de três genótipos em uma única população segregante. São realizados vários cruzamentos sucessivos com os F_1 resultantes do cruzamento anterior:



Também representado como A/B//C/3/D, em que a proporção média de cada genitor na população segregante é A=B=12,5%, C=25% e D=50%. Novamente, o cultivar com maior número de características desejáveis deve ser o último a ser cruzado. Apesar de requerer mais tempo para a produção de populações segregantes, este tipo de combinação de genitores tem sido muito utilizado nos programas de melhoramento genético de trigo. Algumas das variedades brasileiras, ou utilizadas no Brasil, foram obtidas com este tipo de cruzamento, a exemplo de CNT 4 = Lerma 50/3/IAS 31//IAS 20/Reliance.

Cruzamentos duplos: é uma variação dos cruzamentos sucessivos, em que somente varia a forma em que os genitores são cruzados, permitindo a mesma participação média de todos os genótipos nas populações segregantes resultantes:



Cada genótipo participa, em média, de 25% na população segregante. Vários genótipos brasileiros de trigo foram obtidos a partir deste tipo de cruzamento, a exemplo de OCEPAR 17 = Kalyan/Bluebird//Alondra Sib/B 7408.

Cruzamentos complexos: há várias maneiras de combinar maior número de genitores em populações segregantes. Normalmente, quando mais de quatro genótipos participam da formação da população segregante, o cruzamento é chamado de cruzamento complexo. Muitas destas formas foram apresentadas por MacKey (1962), que o chamou de cruzamento convergente, o que, na verdade, são cruzamentos duplos, realizados mais de duas vezes:

Somente a variedade BR 38, dentre as brasileiras, teve por base este sistema de cruzamentos. A genealogia de BR 38 é BR 38 = IAS 55*4/Agent//IAS 55*4/CI 14123.

Métodos de Condução de Populações Segregantes

Os métodos de condução das populações segregantes em trigo têm por objetivo o desenvolvimento de linhas puras. Os métodos mais freqüentemente empregados são:

1. Método da População ou *Bulk*
2. Método Genealógico
3. Método dos Retrocruzamentos
4. Método Descendente de uma Única Semente (SSD)
5. Método dos Di-haplóides
6. Método da Seleção Recorrente

Método da população ou *Bulk*

Este método foi bastante popular entre os melhoristas de trigo e consiste no aproveitamento da seleção natural como principal força na mudança da freqüência gênica das populações segregantes. As gerações segregantes F_2 , F_3 , F_4 , F_5 e F_6 são semeadas em campo em densidade normal de plantio (350 sementes/ m^2), permitindo intensa competição entre plantas da população. Além disso, em locais de ocorrência recorrente de moléstias, especialmente as ferrugens, essas exercem grande pressão natural, possibilitando a seleção de genótipos resistentes/superiores. Normalmente, são utilizadas parcelas de 5 a $10 m^2$, e todas as plantas são colhidas e trilhadas conjuntamente. Uma amostra das sementes produzidas por cada parcela/população é retirada para formar a geração seguinte, assim sucessivamente até as gerações com alta freqüência de genótipos homocigotos (F_6 e F_7). Nestas gerações, normalmente são selecionadas as melhores espigas de cada população, que no ano seguinte são semeadas na forma de espiga por linha. Aquelas linhas de espigas com uniformidade e boas características agrônômicas são colhidas para futuros testes de rendimento e qualidade dos grãos.

Este método foi intensamente utilizado por Benedito de Oliveira Paiva, com o objetivo de selecionar genótipos com ampla adaptação, resistência ao alumínio, resistência às principais moléstias e, de forma indireta, para o rendimento de grãos. No sul do Brasil, Santos e

Carvalho (1977) não observaram vantagem na utilização deste método. Também Silva e Carvalho (1978), Pfeifer e Carvalho (1981) e Del Duca (1991) demonstraram a rápida eliminação das plantas de menor porte em populações segregantes para estatura quando este método foi utilizado. A utilização deste método em trigo tem levado ao desenvolvimento de linhas mais altas e tardias, com rendimento de grãos não-competitivos em ensaios regionais. Com a possibilidade de mecanização dos programas de melhoramento, este método poderá voltar a ter importância, desde que algumas condições sejam atendidas:

- . utilizar somente cruzamentos entre genótipos de mesmo fenótipo, especialmente em relação à estatura da planta e ao ciclo.
- . deve haver no ambiente de seleção alta correlação entre habilidade competitiva e rendimento de grãos;
- . devem ocorrer epifítias anuais das principais moléstias a que se deseja resistência;
- . realizar plantio e a colheita de forma mecanizada.

Ainda é possível adicionar algumas variantes ao método através da seleção massal negativa, ou seja, eliminação das plantas inferiores da população e colheita conjunta das plantas remanescentes da parcela.

Método genealógico

Este é o método mais popular entre os melhoristas de cereais de inverno em vários países. O método tem por objetivo um completo controle, por parte do melhorista, da pressão de seleção imposta nas progênes das diferentes populações. A seleção artificial é empregada em cada planta, individualmente, de cada geração segregante e sobre suas progênes na próxima geração.

A partir da geração F_2 , as plantas de cada cruzamento, de 500 a 1.000, são semeadas com 0,30 m entre si, de maneira que cada planta não sofra nenhuma competição das plantas vizinhas e possam expressar o máximo potencial genético. A seleção é praticada de forma a identificar as melhores plantas individuais de cada população, que são colhidas e trilhadas individualmente. As sementes de uma única planta dão origem na geração F_3 a uma nova população; assim, cada cruzamento estará representado, após a geração F_2 , por várias parcelas derivadas de plantas F_2 , normalmente denominadas $F_{2.3}$ (lê-se: F_2 derivadas F_3) $F_{2.4}$ etc. Quando as progênes não mais segregam nas gerações F_6 e F_7 , são colhidas para testes de rendimento e qualidade dos grãos. Este método demanda muito mais trabalho do

melhorista, porque requer a avaliação de cada planta e mais trabalho e organização para a anotação da origem de cada progênie. Entretanto, permite que o melhorista acompanhe melhor a evolução dos caracteres nas populações segregantes e também a eliminação das progênies inferiores muito cedo nas primeiras gerações do programa. A eficiência do método é muito maior para caracteres com alta herdabilidade, como ciclo, estatura da planta e resistência a moléstias.

A grande maioria das variedades de trigo lançadas no Brasil foi obtida através do método genealógico. Uma modificação frequentemente utilizada pelos melhoristas de cereais de inverno é a de não semear as progênies, a partir da geração F_3 , na forma de plantas espaçadas, mas sim na forma de espiga/fileira. Assim, cada espiga dá origem a uma linha na geração seguinte, que é semeada em densidade quase normal de plantio. Dessa forma, muitos caracteres podem ser analisados; as progênies podem ser avaliadas em condições semelhantes às de cultivo e podem ser identificadas aquelas que mantêm sua performance mesmo em condições de maior competição.

Método dos retrocruzamentos

O método dos retrocruzamentos foi muito popular no melhoramento genético dos cereais de inverno, especialmente nos Estados Unidos, durante as décadas de 40 e 50. Consiste na eliminação de defeitos de uma variedade com excelente adaptação e rendimento de grãos. Assim, existe grande número de variedades de trigo que possuem, após seu nome, um número, como Baart e Baart 38, o que indica terem sido desenvolvidas por retrocruzamentos.

O método depende da existência de um genótipo com excelente desempenho, chamado genitor recorrente, e de um genótipo com uma característica a ser transmitida, o genitor doador. A geração F_1 , resultante do primeiro cruzamento, é cruzada novamente com o genótipo recorrente. As plantas com fenótipo mais similar ao pai recorrente e com o caráter desejado são cruzadas novamente com o genótipo recorrente, e assim sucessivamente, até o genótipo recorrente ter sido completamente recuperado. Usualmente, são realizados de 4 a 5 retrocruzamentos. No Brasil, o método foi pouco empregado. Recentemente o CNPTrigo realizou um programa de eliminação de defeitos de variedades já consagradas, com o objetivo de incluir resistência a moléstias, bem como qualidade de panificação. Algumas variedades foram obtidas pelo método dos retrocruzamentos, a exemplo de EMBRAPA 10 = CNT8*3 / Sonora 64.

Método descendente de uma única semente (SSD)

Este método foi proposto por Goulden (1939) como uma forma de avançar as populações segregantes sem perda da variabilidade, até que as populações sejam novamente constituídas de linhas puras. Assim, a seleção passa a ser realizada somente entre as linhas puras possíveis de cada população. A partir da geração F_2 , é colhida uma semente de cada planta da população segregante, e estas sementes são trilhadas em conjunto, formando uma amostra por parcela. Elas dão origem à geração seguinte, e novamente é colhida uma única semente de cada planta, que são mantidas conjuntamente e vão formar as plantas da próxima geração, e assim, sucessivamente, até a geração F_6 ou F_7 , quando são selecionadas plantas ou espigas individuais. Não é exercido nenhum tipo de seleção, nem artificial nem natural. Portanto, podem ser realizadas várias gerações por ano, em ambientes completamente diferentes daqueles normais de cultivo. Este método tem a vantagem de ocupar pouco espaço e pouco tempo do melhorista, podendo-se conduzir grande número de populações. Entretanto, em trigo, a retirada de uma semente por espiga/planta é lenta e tediosa. Assim, alguns melhoristas têm colhido uma espiga por planta, que, na geração seguinte, são semeadas em covas (*hills*), de onde é colhida novamente uma espiga, a qual é semeada em covas e assim sucessivamente, até as gerações mais avançadas. O método SSD vem ganhando popularidade entre os melhoristas de cereais de inverno, especialmente quanto ao ganho de tempo e devido à sua simplicidade.

Método dos Di-haplóides

Com o desenvolvimento e aperfeiçoamento das técnicas de cultura de tecidos, é possível o desenvolvimento de linhas puras diretamente da geração F_1 , sem precisar passar pelas gerações segregantes, como F_2 , F_3 etc. Em trigo, tem sido amplamente utilizada a técnica de cultivo de anteras em meio nutritivo apropriado, seguida da regeneração de plântulas haplóides, que, após o tratamento com colchicina, têm seu número cromossômico dobrado, originando uma planta completamente homocigota. Recentemente, foram utilizados a polinização das flores de trigo com pólen de milho ou milheto e o resgate e cultivo do embrião resultante, ocorrendo a eliminação dos cromossomos do milho e permitindo a obtenção de plantas haplóides com alta frequência. Estas plântulas são, então, tratadas com colchicina, obtendo-se uma planta di-haplóide completamente

homozigota. O aperfeiçoamento desta técnica tem permitido a obtenção de grande número de plantas di-haplóides por cruzamento. Neste sistema, o melhorista tem participação da escolha das gerações F_1 , F_2 etc., das plantas que serão polinizadas com milho e, após a obtenção das plantas di-haplóides, daquelas linhagens que apresentam as características agrônômicas e de rendimento de grãos desejadas. Existe grande número de variedades que foram obtidas através desta técnica. No Brasil, a variedade BR 43 foi originária de planta di-haplóide obtida pela técnica de cultura de anteras.

Método da seleção recorrente

O aumento da homozigose e a redução da variância genética, bem como da ausência de intercruzamento após o primeiro cruzamento de linhas puras, têm sido apontados como fatores importantes para a não-realização do potencial possível no melhoramento genético de trigo. Assim, vários autores sugerem como importante a quebra dos blocos de ligação, através do intercruzamento de mais de quatro parentais, pelo menos, por três a quatro gerações antes do início da seleção (Hanson, 1959).

Em culturas de polinização cruzada, especialmente no milho, o aumento da freqüência de genes favoráveis, com manutenção da variabilidade genética, tem sido possível através da seleção recorrente. Em culturas antigas de autofecundação, como o trigo, é possível que blocos de ligação indesejáveis tenham permanecido intactos, reduzindo os ganhos possíveis com a seleção.

A seleção recorrente tem por objetivo aumentar a freqüência dos alelos favoráveis na população através do intercruzamento repetido dos melhores genótipos de cada geração. Em trigo, as progênies normalmente são avançadas até a geração F_4 ou F_5 por meio do método SSD e testadas nesta geração. As melhores progênies dos testes são cruzadas entre si, dando início ao ciclo 2, e assim sucessivamente.

Trabalhos de Altman e Busch (1984) demonstraram que não ocorrem recombinantes suficientes pelo intercruzamento anterior à seleção em populações provenientes de cruzamentos simples de trigo.

A seleção recorrente pode ser uma alternativa para se alcançarem objetivos a longo prazo para o desenvolvimento de germoplasma e para a seleção de caracteres com baixa herdabilidade e governados por muitos genes de pequeno efeito. Alguns programas de

seleção recorrente têm sido realizados para o aumento de proteínas, do ciclo e do peso dos grãos de trigo.

Tem-se comparado a eficiência dos diferentes métodos de condução de populações segregantes no Brasil. Normalmente, há uma interação significativa entre populações e métodos, demonstrando que o método a ser utilizado depende do cruzamento e do objetivo (Santos e Carvalho, 1977; Cruz et al., 1983; Del Duca, 1991).

TRIGO HÍBRIDO

Os primeiros trabalhos realizados com trigo para avaliar os efeitos da heterose foram feitos por Rosenquist (1931). Em 26 cruzamentos foi avaliado o rendimento de grãos e observou-se que em 14 deles os rendimentos da F_1 foram superiores ao do melhor genótipo; em sete, intermediários; e em cinco, inferiores ao do pior genitor. Trabalhos posteriores de Knott (1965), MacNeal et al. (1965) e Briggie et al. (1967) revelaram o mesmo padrão de resultados, sendo as melhores combinações híbridas superiores em torno de 20% à do melhor genitor. Cregan e Busch (1978) compararam F_1 e F_5 bulks e linhas F_5 obtidas de cruzamento dialélico de oito parentais, verificaram que os rendimentos das melhores linhas e melhores F_1 foram similares, não evidenciando vantagens na utilização de trigo híbrido.

Há atualmente, no mercado americano, algumas variedades híbridas de trigo, produzidas por companhias particulares, em testes finais para seu lançamento na França e Inglaterra. Em trigo, existe um sistema de macho-esterilidade genético-citoplasmático e genes restauradores da fertilidade. O citoplasma macho-estéril é proveniente de *T. timophevii* e são necessárias três linhas para o desenvolvimento de híbridos: linha A macho-estéril, linha R com genes restauradores da fertilidade e linha B mantenedora, exatamente como em milho. Normalmente, a linha A é desenvolvida por retrocruzamento e a linha B é normal, sendo muitas vezes selecionada para maior extrusão das anteras e maior disseminação do pólen. A linha R, além de ter genes restauradores de fertilidade, deve ter boa capacidade de combinação com a linha A.

Uma outra possibilidade de obtenção de trigo híbrido é através da utilização de produtos químicos para inviabilizar o pólen. Houve grande avanço na especificidade e na eficiência de produtos gameticidas, entretanto, deve existir antes um programa de

desenvolvimento de genitores com capacidade de combinação apropriada, para se obter sucesso com a utilização de trigo híbrido.

Outro ponto importante, levantado por alguns dos mais proeminentes melhoristas de trigo, é que, como o trigo é um híbrido natural proveniente do cruzamento de três espécies diplóides, dificilmente será observada grande heterose entre diferentes variedades de trigo. Assim, dos fatores considerados como obstáculo para a utilização de trigo híbrido, o mais sério é a insuficiência de heterose (Pickett e Golwey, 1997).

No Brasil, não têm sido realizados grandes esforços para o desenvolvimento de trigo híbrido.

GENÉTICA DO TRIGO

Os primeiros trabalhos com estudo da herança de caracteres importantes em trigo no Brasil foram realizados por Beckman (1943) na Estação Experimental de Bagé. Posteriormente, Silva (1966) realizou uma série de estudos da herança entre variedades resistentes e suscetíveis às principais moléstias que atacam o trigo.

A tolerância ao alumínio tóxico do solo foi objeto de vários estudos, conduzidos em campo ou em laboratório. As variedades brasileiras possuem um gene de grande efeito para a tolerância (Camargo, 1978; Nodari et al., 1982) e que está localizado no cromossomo 4D (Lagos et al., 1991). Trabalhos recentes com marcadores moleculares confirmaram a presença de uma região no braço longo do cromossomo 4D, responsável pela tolerância ao alumínio na variedade brasileira BH 1146 (Riede e Anderson, 1996). Trabalhos comprovaram que o trigo americano Atlas 66, que tem alguma tolerância ao alumínio, apresenta gene de menor efeito no cromossomo 5D (Prestes et al., 1975).

A estatura da planta de trigo também foi tema de análise genética realizada por vários pesquisadores no Brasil, sendo observada dominância para porte alto (Federizzi e Carvalho, 1980; Camargo e Oliveira, 1980; Fantini et al., 1994) ou porte baixo, dependendo da fonte utilizada (Camargo e Oliveira; 1980 e Fantini et al., 1994). Os dados observados por esses autores contrastam com o sistema descrito na literatura internacional, isto é, grande variabilidade genética foi observada entre os diferentes genótipos de porte baixo e parece evidente que os programas brasileiros tiveram à disposição grande variabilidade deste caráter. Relacionados à estatura estão os genes de insensibilidade ao ácido

giberélico, o qual permite separar os genótipos baixos e altos ainda no estágio de plântula, com grande economia de tempo (Federizzi et al., 1988). A análise genética entre genótipos sensíveis/altos (Maringá) e insensíveis/baixos (Batuíra, Alondra e Juriti e Anahuac) revelou um gene de diferença, isto é, os genótipos Batuíra/Alondra possuem um gene dominante de insensibilidade ao ácido giberélico, que é diferente daquele presente em Juriti e Anahuac (Federizzi et al., 1992). Estes genótipos são originários do CIMMYT e provavelmente portadores dos genes de porte baixo Rht 1 e Rht 2, provenientes da variedade Norin 10. O acamamento artificial revelou que os genótipos de porte baixo, em condições brasileiras, foram superiores em rendimento de grãos e outros caracteres de importância aos genótipos de porte alto (Federizzi et al., 1994).

Outro caráter importante estudado foi o ciclo da planta, e três genes dominantes e independentes foram identificados em genótipos brasileiros. Os genótipos mais tardios apresentam os três loci com genes recessivos, os de ciclo intermediário com um locus dominante e os de ciclo precoce com dois loci dominantes. Os cultivares IAS 55 e Nobre possuem dois genes dominantes para ciclo precoce e um recessivo para ciclo mais tardio (Federizzi et al., 1982).

Alguns caracteres relacionados à fisiologia da planta de trigo foram estudados quanto ao mecanismo de sua herança. Assim, Cristaldo et al. (1992) verificaram um gene de diferença entre trigos com folha-bandeira ereta e trigos com folha-bandeira pendente. Pacheco et al. (1995), estudando a área da folha-bandeira e a sua permanência verde após a antese, observaram variabilidade para esses caracteres entre trigos brasileiros. A herdabilidade obtida foi baixa e foram observados efeitos de sobredominância na maior área da folha-bandeira, o que levou os autores a concluir que estes caracteres não eram bons como critério de seleção para a identificação de plantas superiores em populações segregantes de trigo.

A regeneração de planta *in vitro* foi estudada por Lange et al. (1995), que verificaram grandes diferenças deste caráter entre variedades brasileiras de trigo, sendo a IAC 5 Maringá a de melhor regeneração, enquanto a BR 23 teve o pior desempenho.

A variabilidade da deiscência natural dos grãos foi estudada por Matos e Carvalho (1980). Dois genes foram identificados como responsáveis pela menor deiscência em variedades brasileiras.

A variabilidade do índice de colheita em cruzamentos entre trigos de porte alto e porte baixo foi estudada por Enders et al. (1994). A herdabilidade, no sentido restrito do caráter, variou de 0,21 a 0,51,

dependendo do cruzamento, mostrando que é possível selecionar genótipos com maior índice de colheita.

A capacidade combinatória de vários caracteres da planta entre variedades de trigo brasileiras antigas e recentes foi estudada por Scheeren et al. (1995). As variedades antigas (IAS 20, Nobre e Maringá) têm maior capacidade de combinação de estatura de planta mais elevada, enquanto os genótipos mais recentes (BR 14, PF 85845, PF 839204 e PF 84432) apresentaram maior capacidade combinatória de maior número de afilhos férteis/planta, maior número de espiguetas férteis/espiga e maior peso dos grãos/planta. Estes resultados comprovam o progresso obtido recentemente pelos programas de melhoramento de trigo.

BIOTECNOLOGIA NO MELHORAMENTO DE TRIGO

Técnicas para análise genética e manipulação celular e molecular têm sido desenvolvidas para o trigo hexaplóide cultivado desde o final da década de 70. Entre estas, as principais têm sido as técnicas de cultura de tecidos e células, como o cultivo de calos e embriões *in vitro*, a cultura de anteras, marcadores moleculares e a transformação genética.

Ahloowalia (1982) foi um dos primeiros a relatar a indução de calos embriogênicos e a regeneração de plantas *in vitro* de trigo. Trabalhos posteriores indicaram que a capacidade intrínseca de cada genótipo é fundamental para o sucesso do cultivo *in vitro* de trigo. O laboratório de Cultura de Tecidos do Departamento de Plantas de Lavoura da UFRGS foi um dos pioneiros na identificação de genótipos brasileiros de trigo com potencial para o cultivo *in vitro* (Milach, 1989). Os genótipos Alondra e Maringá destacaram-se em diversos estudos (Milach et al., 1991b; Lange et al., 1995). Os primeiros trabalhos de indução de calos e regeneração de plantas passaram logo a dar ênfase à obtenção de variantes somaclonais como forma de gerar variabilidade para os programas de melhoramento. Variantes somaclonais de trigo foram identificadas no germoplasma brasileiro (Milach et al., 1991a) e de outros países (Ahloowalia e Sherington, 1985). Contudo, em geral, a variação obtida por esta técnica era negativa ou representava variabilidade já existente nos programas de melhoramento. Por essa razão, o cultivo de calos teve aplicação limitada em trigo até o advento das técnicas de transformação genética, quando novamente passou a ter importância para a obtenção de plantas transgênicas nesta espécie. Entretanto, a seleção *in vitro* para resistência a helmintosporiose com o uso de

filtrados tóxicos de *Helminthosporium sativum* foi utilizada com sucesso na identificação de genótipos de trigo com resistência a esta moléstia disponíveis no Programa de Melhoramento Genético de Trigo da UFRGS (Cristaldo, 1993; Barbieri, 1995).

Outras técnicas de cultura de tecidos de importância para o melhoramento incluem a cultura de anteras e o cultivo de embriões de trigo. A cultura de anteras objetiva o avanço rápido de gerações segregantes para os programas de melhoramento de trigo, tendo gerado variedades comerciais, como a variedade BR 43 do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo em Passo Fundo, RS. O problema desta técnica é que uma parte limitada do germoplasma de trigo possui potencial para o cultivo de anteras *in vitro*, o que limita os programas de melhoramento a trabalharem com um número de populações restrito aos genótipos com capacidade regenerativa. Uma alternativa para a obtenção de plantas di-haplóides ou o avanço rápido de gerações é o cruzamento interespecífico de trigo x milho com o resgate e cultivo de embriões *in vitro* (Laurie e Bennet, 1988). Esta técnica está aos poucos substituindo a cultura de anteras de trigo em alguns programas de melhoramento, como o do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo da EMBRAPA, porque até o momento não foi observado efeito do genótipo na capacidade de obtenção de plantas haplóides de cruzamentos interespecíficos. Cerca de 10 a 30% das flores de trigo polinizadas com milho geram plantas haplóides.

O cultivo *in vitro* de embriões tem sido ainda utilizado para viabilizar os cruzamentos entre trigo e suas espécies afins. Esta técnica já foi empregada por diversos grupos e viabilizou, por exemplo, a transferência de genes de resistência à ferrugem-da-folha de *Aegilops comosa* para *Triticum aestivum*, bem como muitos outros genes de interesse de espécies afins para o trigo cultivado (Brar e Khush, 1986).

A transformação genética do trigo com a técnica de biobalística foi relatada pela primeira vez por Vasil e colaboradores em 1992. Desde então, essa técnica tem sido utilizada por vários grupos para obtenção de plantas de trigo transgênicas. Uma alternativa para essa técnica é a transformação via *Agrobacterium tumefaciens*, que recentemente passou a ser utilizada com sucesso em diversas espécies de cereais (Handel et al., 1997). Até o presente momento foram obtidas plantas transgênicas de trigo resistentes ao herbicida Basta e com o gene marcador beta-glucuronidase (GUS). O isolamento e a descrição de novos genes, como o gene recentemente isolado de bactéria que conferiu tolerância ao alumínio em plantas transgênicas de fumo e mamão, irão despertar o interesse de mais grupos para transformação de trigo.

O fato de o genoma do trigo hexaplóide estar entre os de maior tamanho em plantas superiores (18 pg de DNA por célula haplóide) dificulta a manipulação genética molecular nesta espécie. Este problema é amenizado, porque existem estoques citogenéticos para o trigo hexaplóide que permitem a localização de genes e de seqüências de DNA em cromossomos específicos. Estes estoques foram utilizados para a construção dos mapas moleculares do trigo, que cobrem os 21 pares de cromossomos desta espécie. A apresentação conjunta desses mapas pode ser encontrada em Hart (1994). O mapeamento comparativo de consenso de Triticeae com outras espécies de cereais, como o arroz, o milho e a aveia, revela 93, 92 e 94% de conservação, respectivamente, no genoma dessas espécies em nível molecular (Van Deynze et al., 1995). Snape e colaboradores (1996) sugerem que o mapeamento comparativo facilitará a identificação de novos genes em trigo já mapeados em outras espécies de cereais. Marcadores moleculares foram encontrados associados a diversas características de importância agrônômica em trigo, como resistência à germinação na espiga (Anderson et al., 1993), resistência à ferrugem-da-folha (Autrique et al., 1995) e oídio (Ma et al., 1994) e a proteínas de reserva do endosperma (D'Ovidio et al., 1994; Devos et al., 1995). Esforços conjuntos de pesquisa, como aquele do grupo ITMI (International Triticeae Mapping Initiative), que anualmente reúne os esforços de vários grupos envolvidos com o mapeamento do trigo, facilitarão o progresso na manipulação molecular desta espécie. Contudo, devido à complexidade do trigo hexaplóide e ao baixo nível de polimorfismo que esta espécie apresenta entre variedades-elite em nível molecular, os avanços nesta área serão mais lentos que em espécies de genoma menor e deverão prosseguir ainda por certo tempo, antes que marcadores moleculares possam ser rotineiramente utilizados em programas de melhoramento genético de trigo.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

As médias de rendimento de grãos observados no Brasil evidenciam duas situações bem definidas: até 1985, quando os rendimentos médios raramente ultrapassavam 1.000 kg/ha; e a partir de 1985, quando, em razão do desenvolvimento de melhores cultivares e da maior adoção de técnicas culturais, especialmente a rotação de culturas, o rendimento médio das lavouras passou para 1.500 kg/ha. No Rio Grande do Sul e Paraná, as médias estaduais máximas de rendimento foram, respectivamente, 2.140 kg/ha (1985) e 2.050 kg/ha (1992). Contudo, em

lavouras com a utilização de toda a tecnologia disponível para o trigo e em anos com ambiente favorável à cultura, foram observadas dezenas de lavouras (sem irrigação) com rendimentos superiores a 5.000 kg/ha.

No sistema irrigado de cultivo de trigo, utilizado na região dos cerrados (MG, GO e DF), o rendimento médio das lavouras foi de 4.553 kg/ha, em 1996, havendo registros de rendimentos superiores a 6.500 kg/ha.

As médias de rendimento dos principais estados produtores em kg/ha, nos períodos de 1962-1984 e 1985-1996, estão no quadro a seguir:

Quadro 2 - Rendimento de grãos (kg/ha) em alguns estados brasileiros, em dois períodos

Estados	Períodos	
	1962-1984	1985-1996
Minas Gerais	1.177	3.287
Mato Grosso do Sul	719	1.152
Paraná	865	1.580
Rio Grande do Sul	801	1.517
Santa Catarina	546	1.311
São Paulo	912	1.600
Brasil	821	1.523

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahloowalia, B.S. 1982. Plant regeneration from callus culture in wheat. **Crop Sci.**, 22:405-410.
- Ahloowalia, B.S. and Sherington, J. 1985. Transmission of somaclonal variation in wheat. **Euphytica**, 34:525-537.
- Altman, D.W. and Busch, R.H. 1984. Random intermating before selection in spring wheat. **Crop Sci.**, 24:1085-1089.
- Anderson, J.A., Sorrells, M.E. and Tanksley, S.D. 1993. RFLP analysis of genomic regions associated with resistance to preharvest sprouting in wheat. **Crop Sci.**, 33:453-459.
- Autrique, E., Singh, R.P., Tanksley, S.D. and Sorrells, M.E. 1995. Molecular markers four leaf rust resistance genes introgressed into wheat from wild relatives. **Genome**, 38:75-83.
- Barbieri, R.L. 1995. **Genética da resistência ao *Helminthosporium sativum* em trigo**. Porto Alegre: UFRGS. Dissertação de Mestrado, p.47.
- Borojevic, S. 1990. **Principles and methods of plant breeding**. Amsterdam: Elsevier Science Publisher, B. V. 368p.
- Brar, D.S. and Khush, G.S. 1986. Wide hybridization and chromosome manipulation in cereals. In: **Handbook of plant cell culture**. Evans, D.A., Sharp, W.R. and Ammirato P.V. (eds.). v. 4., New York: MacMillan Publ. Co. p.221-263.
- Breiman, A. and Graur, D. 1995. Wheat evolution. **Israel J. of Plant Sci.**, 43:85-98.
- Briggle, L.W., PeteRSen, H.D. and Hayes, R.H. 1967. Performance of a winter wheat hybrid, F2, F3 and parent varieties at five populations levels. **Crop Sci.**, 7:485-490.
- Camargo, C.E. de O. 1978. **Differential response and inheritance to aluminum toxicity, heritabilities estimates and associations of different height levels with aluminum toxicity**,

- grain yield and other agronomic characteristics in wheat.** Oregon State University. (Ph.D. Thesis).
- Camargo, C.E. de O. e Oliveira, O.F. 1980. Melhoramento de Trigo II: Estudo genético de fontes de nanismo para a cultura do trigo. In: **11 Reunião Nacional de Pesquisa de Trigo.** Porto Alegre, RS.
- Cregan, P.B. and Busch, R.H. 1978. Heterosis, inbreeding and line performance in crosses of adapted spring wheats. **Crop Sci.**, **18**:247-251.
- Cristaldo, R.M.L.O. 1993. **Uso de filtrados tóxicos para avaliar a resistência ao fungo *Helminthosporium sativum* em trigos hexaplóides "in vitro".** Porto Alegre. (Faculdade de Agronomia, UFRGS, p.129. Tese de Doutorado).
- Cristaldo, R.M.O., Carvalho, F.I.F., Barbosa Neto, J.F. and Federizzi, L.C. 1992. Inheritance of flag leaf angle in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Revista Brasileira de Genética**, **15**:385-397.
- Cruz, P.J., Cravalho, F.I.F. e Federizzi, L.C. 1983. Efeitos de populações e métodos de seleção aplicados em gerações segregantes de trigo. **Pesq. Agrop. Bras.**, **18**:533-541.
- Del Duca, L.J.A. 1991. **Influência da seleção natural, comparação de métodos de melhoramento genético e avaliação precoce em populações segregantes de trigo (*Triticum aestivum* L.).** Porto Alegre: UFRGS, p.258. (Tese de Doutorado).
- Devos, K.M., Bryan, G.J., Collins, A.J., Stephenson, P. and Gale, M.D. Application of two microsatellite sequences in wheat storage proteins as molecular markers. **Theor. Appl. Genet.**, **90**:247-252.
- D'Ovidio, R., Porceddu, E. and Lafiandra, D. 1994. PCR analysis of genes encoding allelic variants of high-molecular-weight glutenin subunits at the *Glu-D1* locus. **Theor. Appl. Genet.**, **88**:175-180.
- Enders, M., Federizzi, L.C. e Carvalho, F.I.F. 1994. Herança do índice de colheita em cruzamentos de trigo (*Triticum aestivum* L.) com diferentes estaturas de planta. **Pesq. Agrop. Bras.**, **29**:1445-1452.
- Fantini, A.C., Federizzi, L.C., Carvalho, F.I.F. and Barbosa Neto, J.F. 1994. Variabilidade genética e herança da estatura de planta em genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.). **Pesq. Agrop. Bras.**, **29**:123-131.
- Federizzi, L.C. e Carvalho, F.I.F. 1980. Variabilidade genética e herança do caráter estatura de planta envolvendo diferentes genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.). **Agronomia Sulriograndense**, **16**:3-16.
- Federizzi, L.C., Carvalho, F.I.F. e Nodari, R.O. 1982. Análise genética do caráter período de espigamento em trigo. **Pesq. Agrop. Bras.**, **17**:1271-1277.
- Federizzi, L.C., Carvalho, F.I.F. e Oliveira, M.A.R. 1988. Avaliação da resposta de genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) de diferentes estaturas à aplicação do ácido giberélico no estágio de plantula. **Rev. Ciências Rurais**, **18**:149-161.
- Federizzi, L.C., Cravalho, F.I.F. e Oliveira, M.A.R. 1992. Genética da insensibilidade ao ácido giberélico em genótipos de trigo com diferentes estaturas. **Pesq. Agrop. Bras.**, **27**:1183-1193.
- Federizzi, L.C., Fantini, A.C. e Carvalho, F.I.F. 1994. Efeito do acamamento artificial em genótipos de trigo de porte alto e baixo. **Ciência Rural**, **24**:465-469.
- Federizzi, L.C., Milach, S.C.K., Barbosa Neto, J.F. e Pacheco, M.T. 1997. **Melhoramento Genético de Trigo e Aveia no Brasil.** 2ª Semana de Melhoramento Genético, Lavras, março de 1997.
- Feldman, M. 1976. Wheats. In: Simonds, N.W. (ed.). **Evolution of crop plants.** Longman Inc. N.Y., p.120-128.

- Gandin, C.L., Federizzi, L.C., Carvalho, F.I.F. and Scheeren, P.L. 1983. Study of relative effects of five generations of agronomically important traits in wheat. **Rev. Bras. de Genética**, 6:693-707.
- Goulden, C.H. 1939. Problems in plant selection. In: Burnett, R. C. (ed.). **Proceedings of 7th International Genetic Congress**, Edinburg. Cambridge Univ. Press, p132-133.
- Handel, C.L., Wagner, C.M., Milach, S.C.K. e Federizzi, L.C. 1997. Transformação genética de cereais via *Agrobacterium tumefaciens*. **Ciência Rural**, 27:359-365.
- Hart, G.E. 1994. RFLP maps of bread wheat. In: **DNA-based markers in plants**. R.L. Phillips & I.K. Vasil (eds.). Kluwer Academic Publishers, p.327-358.
- Hanson, W.D. 1959. The breakup of initial linkage blocks under selected mating systems. **Genetics**, 44: 857-868.
- Harlan, J.R. 1992. **Crops and Man**. 2 nd ed. Madison, American Soc. of Agronomy. p.284
- Knott, D.R. 1965. Heterosis in seven wheat hybrids. **Can. J. Plant Sci.**, 45: 499-501.
- Lange, C.E., Federizzi, L.C., Carvalho, F.I.F., Tavares, M.J.C.M., Dornelles, A.L.C. and Handel, C.L. 1995. Genetic analysis of somatic embryogenesis and plant regeneration of wheat (*Triticum aestivum* L.). **J. Genet. & Breeding**, 49:195-200.
- Lagos, M.B. 1983. História do melhoramento de trigo no Brasil. **Boletim Técnico do Ipagro**, 10:1-80.
- Lagos, M.B., Fernandes, M. I. M., Camargo, C.E. de O., Federizzi, L.C. and Carvalho, F.I.F. 1991. Genetic and monosomic analysis of aluminum tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Rev. Bras. de Genét.**, 14:1011-1020.
- Laurie, D.A. and Bennett, M.D. 1988. The production of haploid wheat plants from wheat x maize crosses. **Theor. Appl. Genet.**, 76:393-397.
- Ma, Z.Q., Sorrells, M.E. and Tanksley, S.D. 1994. RFLP markers linked to powdery mildew resistance genes *Pm1*, *Pm2*, *Pm3* and *Pm4* in wheat. **Genome**, 37:871-875.
- MacKey, J. 1962. The 75 years development of Swedish plant breeding. Hodowla Roslin, **Aklimatyzacja I Nasiennictwo Tom**, 6:437-467.
- McNeal, F.H., Baldrige, D.E., Berg, M.A. and WaRson, C.A. 1965. Evaluation of three hard red spring wheat crosses for heterosis. **Crop Sci.**, 5:339-400.
- Milach, S.C.K. **Variabilidade genética para o crescimento dos calos e regeneração de plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) "in vitro"**. 1989. Porto Alegre, RS: Faculdade de Agronomia, UFRGS (Tese de Mestrado).
- Milach, S.C.K., Federizzi, L.C., Carvalho, F.I.F., Dornelles, A.L. e Lange, C. 1991a. Regeneração de plantas no cultivo de calos de genótipos brasileiros de trigo. **Pes. Agrop. Bras.**, 26:1947-56.
- Milach, S.C.K., Federizzi, L.C., Carvalho, F.I.F. e Barbosa Neto, J.F. 1991b. Variabilidade genética para a regeneração de plantas no cultivo de calos de trigo. **Pesq. Agrop. Bras.**, 26:1969-74.
- Nodari, R.O., Carvalho, F.I.F. e Federizzi, L.C. 1982. Bases genéticas da herança do caráter tolerância ao crestamento em genótipos de trigo. **Pesq. Agrop. Bras.**, 17:269-280.
- Osorio, E.A. 1982. Variedades e melhoramento. In: Osorio, E.A. (ed.). **Trigo no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, p145-197.
- Pacheco, M.T., Carvalho, F.I.F., Federizzi, L.C. and Barbosa Neto, J.F. 1995. The inheritance of flag leaf lamina area and its green duration in wheat (*Triticum aestivum* L.). **J. Genet. & Breed.**, 49:209-216.

- Pfeifer, A.B. e Carvalho, F.I.F. 1981. Análise da competição intergenotípica sob efeitos da seleção natural e artificial em populações de trigo (*Triticum aestivum* L.). **Agronomia Sulriograndense**, 17:3-23.
- Pickett, A.A. and Galwey, N.W. 1997. A further evaluation of hybrid wheat. **Plant Varieties and Seeds**, 10:15-32.
- Prestes, A.M., Konzak, C.F. and Hendrix, J.W. 1975. An improved seedling culture method for screening wheat for tolerance to toxic levels of aluminum. **Agron. Abst.**, 67: 60.
- Rasmusson, D.C. and Phillips, R.L. 1997. Plant breeding progress and genetic diversity from de novo variation and elevated epistasis. **Crop Sci.**, 37:303-310.
- Riede, C.R. and Anderson, J.A. 1996. Linkage of RFLP marker to an aluminum tolerance gene in wheat. **Crop Sci.**, 36:905-909.
- Riley, R. and Kempana, R. 1963. The homoeologous nature of non homologous meiotic pairing in *T. aestivum* deficient for chromosome V. **Heredity**, 18:28-306.
- Rosenquist, C.E. 1931. An improved method of producing F₁ hybrids seeds of wheat and barley. **J. Am. Soc. Agron.**, 19:968-971.
- Santos, F. e Carvalho, F.I.F. 1977. Estimativa da seleção para caracteres de importância agronômica em gerações segregantes de trigo (*Triticum aestivum* L.). **Agronomia Sulriograndense**, 13: 219-236.
- Scheeren, P.L., Carvalho, F.I.F. e Federizzi, L.C. 1995. Análise da capacidade combinatória de seis caracteres adaptativos em trigo (*Triticum aestivum* L.). **Pesq. Agrop. Bras.**, 30:831-846.
- Silva, A.R. 1966. **Melhoramento das variedades de trigo destinadas às diferentes regiões do Brasil**. Rio de Janeiro: SIA, p 82.
- Silva, A.C.F. e Carvalho, F.I.F. 1978. Estimativa dos efeitos da competição intergenotípica através do uso de genes marcadores em trigo (*Triticum aestivum*): mistura mecânica de cultivares. **Ciência e Cultura**, 30:1214-1222.
- Snape, J.W., Quarrie, S.^a and Laurie, D.A. 1996. Comparative mapping and its use for genetic analysis of agronomic characters in wheat. **Euphytica**, 89:27-31.
- Souza, C.N.A. 1994. **Cultivares de trigo recomendadas no Brasil 1922 a 1992**. Passo Fundo. Embrapa – CNPTrigo, Doc. 16, p82.
- Van Deynze, A.E., Nelson, J.C., Yglesias, E.S., Harrington, S.E.; Braga, D.P., McCouch, S.R. and Sorrells, M.E. 1995. Comparative mapping in grasses. Wheat relationships. **Mol. Gen. Genet.**, 248:744-754.
- Vasil, V., Castillo, A.M., Fromm, M.E. and Vasil, I.K. 1992. Herbicide resistant fertile transgenic plants obtained by microprojectile bombardment of regenerable embryogenic callus. **Biotechnology**, 10:667-674.