

ADELIANO CARGNIN

**PROGRESSO GENÉTICO EM TRINTA ANOS DE MELHORAMENTO DO
TRIGO EM MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2007**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C276p
2007

Cargnin, Adeliano, 1979-

Progresso genético em trinta anos de melhoramento do
trigo em Minas Gerais / Adeliano Cargnin. – Viçosa : UFV,
2007.

xiii, 61f. : il. ; 29cm.

Orientador: Moacil Alves de Souza.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Trigo - Melhoramento genético. 2. Trigo - Genética.
3. Trigo - Variedades. I. Universidade Federal de Viçosa.
II. Título.

CDD 22.ed. 633.112

ADELIANO CARGNIN

**PROGRESSO GENÉTICO EM TRINTA ANOS DE MELHORAMENTO DO
TRIGO EM MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 29 de março de 2007.



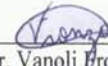
Prof. José Eustáquio de Souza Carneiro
(Co-Orientador)



Prof. Pedro Crescêncio Souza Carneiro
(Co-Orientador)



Prof. Toció Sedyama



Dr. Vanoli Bronza



Prof. Moacil Alves de Souza
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida e saúde. A toda a minha família, que sempre esteve do meu lado, apoiando em todos os momentos.

Ao Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, ao Departamento de Fitotecnia e a Universidade Federal de Viçosa (UFV) pela oportunidade concedida, pelo apoio e estrutura.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento e concessão de bolsa de estudo.

Ao Professor Moacil Alves de Souza, pela orientação, ensinamento, incentivo e amizade ao longo do período que estive na UFV.

Ao Pesquisador da EPAMIG, Vanoli Fronza pela enorme ajuda na obtenção dos dados, amizade e sugestões nos manuscritos.

A Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), em especial ao Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC) e ao Centro Nacional de Pesquisa do Trigo (CNPT), pela parceria e apoio no programa de melhoramento do trigo em Minas Gerais.

Aos professores Pedro Crescêncio Souza Carneiro, José Eustáquio de Souza Carneiro e Tocio Sedyama pelo auxílio e sugestões nos manuscritos, mas principalmente pela amizade.

A minha namorada Cláudia pelo amor e carinho. Aos amigos Fábio, Valdinei e Beno, pela força, coleguismo e trabalho. Aos amigos e a todos que de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos o meu muito obrigado.

BIOGRAFIA

ADELIANO CARGNIN, filho de Darci Cargnin e Inês Cargnin, nascido aos 23 dias do mês de novembro de 1979, em Frederico Westphalen-RS.

Em 1997, formou-se Técnico em Agropecuária pelo Colégio Agrícola de Frederico Westphalen (CAFW), Frederico Westphalen-RS.

Diplomado Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas-RS, em 2003.

Em fevereiro de 2005 obteve o título de *Magister Scientiae* em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG.

Em março de 2005 ingressou no programa de Doutorado em Genética e Melhoramento da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG, vindo a defender o título de *Doctor Scientiae* em março de 2007.

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vii
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15
CAPITULO I.....	18
Progresso genético em 30 anos de melhoramento do trigo irrigado em Minas	
Gerais	18
Resumo.....	18
Abstract	19
Introdução	19
Material e Métodos	22
Resultados e Discussão	26
Conclusões	36
Referências.....	37
CAPÍTULO II	40
Progresso genético em 30 anos de melhoramento do trigo de sequeiro em Minas	
Gerais	40
Resumo.....	40
Abstract	41
Introdução	41
Material e Métodos	44
Resultados e Discussão	48
Conclusões	58
Referências.....	59
CONCLUSÕES GERAIS	61

RESUMO

CARGNIN, Adeliano, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2007.
Progresso genético em trinta anos de melhoramento do trigo em Minas Gerais. Orientador: Moacil Alves de Souza. Co-Orientadores: Pedro Crescêncio Souza Carneiro e José Eustáquio de Souza Carneiro.

O cultivo do trigo na região dos cerrados do Brasil-Central é uma realidade. Pelas condições favoráveis de clima, a produtividade do trigo nesta região no sistema irrigado, em lavouras com altitude superior a 400m, é muito superior a da região sul do país. Além disso, existe a possibilidade de produção de trigo de sequeiro nessas áreas de cerrado, com altitude acima de 800m, onde é alcançada produtividade próxima da média nacional. Com os dois sistemas há grandes perspectivas para o aumento da produção nacional de trigo, na medida em que melhores cultivares e com maior adaptação as épocas de plantio, sejam desenvolvidas pela pesquisa. Os programas de melhoramento genético devem ser examinados periodicamente, a fim de identificar possíveis problemas durante as etapas, visando maximizar o planejamento das atividades por parte dos melhoristas. Desta forma, a realização deste trabalho teve como objetivo quantificar o progresso genético obtido pelos programas de pesquisa do trigo nos sistemas irrigado e sequeiro, no Estado de Minas Gerais, no período de 1976 a 2005. A eficiência dos programas de melhoramento de trigo, nos dois sistemas, foi estudada utilizando-se os dados de produtividade de grãos obtidos nos ensaios de valor de cultivo e uso. Os ensaios foram conduzidos em parceria, por instituições federais e estaduais de pesquisa agropecuária, em 19 locais do Estado de Minas Gerais no sistema irrigado e em 10 locais no sistema de sequeiro, no período de 1976 a 2005. Para a estimativa do progresso genético e ambiental foi utilizada a metodologia de Vencovsky e colaboradores. O progresso

genético médio anual estimado no período de 1976 a 2005 foi de 48 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e 37 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na produtividade média de grãos, nos sistemas irrigado e sequeiro, respectivamente. Apesar do ganho genético ter contribuído significativamente, as melhorias ambientais foram importantes para o aumento da produtividade. Os programas de melhoramento de trigo irrigado e sequeiro promovem respectivamente, 33% e 35% de renovação de genótipos ao longo dos anos. Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se concluir que após 30 anos de pesquisa no Estado de Minas Gerais, o melhoramento genético do trigo irrigado e sequeiro, produziu resultados positivos e significativos, refletido nas estimativas do ganho genético médio em produtividade. Os evidentes ganhos indicam nitidamente que os programas de melhoramento do trigo em Minas Gerais mostraram-se eficientes, contribuindo para a melhoria da produtividade da cultura.

ABSTRACT

CARGNIN, Adelio, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March of 2007.
Genetic progress in thirty years of improvement of wheat in Minas Gerais State. Adviser: Moacil Alves de Souza. Co-Advisers: Pedro Crescêncio Souza Carneiro and José Eustáquio de Souza Carneiro.

Wheat cropping in the savannah region on Brazil-Central is a reality. In this region, the productivity of the wheat at higher altitude than 400m and under irrigation system is very superior to that on southern region, because the favorable climate conditions. In addition, there is a possibility for wheat upland crop in those savannah areas with altitude above 800m, where productivity around the national average is reached. Using both systems, there are great perspectives for increasing the national wheat production, as better cultivars provided with higher adaptation to the planting times are generated by research. The genetic improvement program should be periodically examined in order to identify possible problems during its phases and to maximize the activity planning by the breeders. The objective of this study was to quantify the genetic progress obtained by the wheat research programs under both upland and irrigated systems, over the period from 1976 to 2005, in Minas Gerais State. The efficiency of the wheat improvement programs under both systems were studied, by using the grain productivity data obtained in assays cropping and use values. The assays were conducted by the associated federal and state institutions for agricultural research. The irrigated and the upland systems were used in 19 places and 10 places, respectively, over the period from 1976 to 2005, in Minas Gerais State. The estimate of the environmental and genetic progresses were estimated by Vencovsky methodology. The average annual genetic progress estimated over the period from 1976 to 2005 was 48 kg ha⁻¹ year⁻¹ and 37 kg ha⁻¹

year⁻¹ in productivity average, under the upland and irrigated systems, respectively. Although the significant contribution of the genetic gains, the environmental improvements were important for increasing the productivity. The improvement programs of the upland and irrigated wheat promoted 33% and 35% renewal of genotypes along the years, respectively. Based on the results, it can be concluded that after 30 years undergoing research in Minas Gerais State, the genetic improvement of the upland and irrigated wheat led to positive and significant results that reflected on estimates of the average genetic gain in productivity. Those gains clearly indicated the wheat improvement programs in Minas Gerais State showed to be efficient, therefore contributing to the improvement of this crop.

INTRODUÇÃO GERAL

A partir do final da década de 1980, o governo brasileiro retirou integralmente os subsídios aos produtores de trigo e liberou a comercialização deste cereal, monopolizada pelo Banco do Brasil desde 1966 (Stresser, 1979; Gomes, 1983). Esta estratégia refletiu em redução da área e, conseqüentemente na produção nacional, que chegou a patamares inferiores a 3,0 milhões de toneladas, insuficientes para o consumo de aproximadamente 10 milhões de toneladas. A soma de todos os fatores políticos, econômicos e técnicos ligados à triticultura brasileira desencadearam um dos maiores déficits no setor, com produção de cerca de 2,4 milhões de toneladas em 2000, gerando importação de 8,4 milhões de toneladas em 2001 (Agrianual, 2001). A vultosa soma de divisas gasta na importação do trigo no ano de 2001 só perdeu para o petróleo e transformando este ano num dos mais desastrosos da história recente da triticultura nacional.

Somado aos aspectos econômicos, os estados maiores produtores, Paraná e Rio Grande do Sul, enfrentam dificuldades climáticas que freqüentemente frustram as safras naqueles estados. Ainda há de se considerar que o baixo custo do trigo argentino e subsídios aos agricultores americanos, canadenses e franceses aumentam a dificuldade competitiva do trigo brasileiro.

Esta incômoda posição do trigo no cenário econômico do país levou várias instituições ligadas ao governo (federal, estadual e municipal) e agentes da cadeia produtiva (sementeiros, institutos de pesquisa públicos e privados, produtores e cooperativas) a empenharem-se na busca de alternativas para aumentar e dar estabilidade à produção nacional. A partir de então, a retomada da expansão da economia, do emprego e aumento do poder de compra configuraram um novo quadro para a cadeia produtiva do trigo, com melhores perspectivas de mercado e mais

segurança na atividade. Como resultado desse esforço, obteve-se uma colheita excepcional na safra de 2003, cerca de 5,9 milhões de toneladas, fazendo com que as importações não ultrapassassem a marca de 5 milhões de toneladas, números que mantiveram-se na safra de 2004 (Agriannual, 2005).

Pelo quadro geral pode-se afirmar que a triticultura brasileira entra em nova fase, com o consumo correspondendo praticamente ao dobro da produção nacional. Os produtores eficientes e tecnificados, trabalhando com bons índices de produtividades, poderão dedicar-se a essa cultura com segurança e maior certeza de lucro. Reconhece-se que o trabalho tem sido bem sucedido, porquanto hoje se cultiva trigo na região do Brasil-Central, onde predominam solos sob vegetação de cerrados. Nesta região não tradicional, se obtém produto de qualidade comparável ao trigo canadense, considerado padrão em excelência de qualidade, e produtividade similar ao cereal francês.

Neste contexto, o cultivo do trigo na região dos cerrados do Brasil-Central, que envolve os estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Distrito Federal, é uma realidade (Souza, 1983; Souza e Ramalho, 2001; Fronza, 2005; Cargnin et al, 2006). Pelas condições favoráveis de clima do cerrado, os rendimentos do trigo no sistema irrigado (altitude superior a 400 metros) nesta região são superiores aos da região sul do país (Comissão..., 2005). Além disso, o trigo produzido na região dos cerrados alcança melhor competitividade de preço no mercado nacional devido ao fato de que a colheita dá-se na entressafra da produção de trigo dos estados do sul do país e da Argentina, principal fornecedor de trigo para o Brasil.

Da mesma forma, a produção de trigo de sequeiro em áreas de cerrado, com altitude superior a 800 metros (Comissão..., 2005), oferece grandes perspectivas para o aumento da produção nacional de trigo. Isto será possível na medida em que

melhores cultivares e com maior adaptação às diferentes épocas de semeadura, nas diversas áreas do cerrado, sejam desenvolvidas pela pesquisa.

As primeiras pesquisas com bases científicas sobre a cultura do trigo em Minas Gerais tiveram início em 1928, na região de Araxá (Grieder, 1929). Nesta primeira experiência não se dispunha de informações de cultivares e épocas mais adequadas. A primeira semeadura ocorreu em julho de 1928, utilizando germoplasma oriundo principalmente do Rio Grande do Sul, exceto a variedade Montes Claros que já era cultivada por mais de um século na região de Montes Claros, no norte de Minas Gerais.

Após três anos de pesquisa, Grieder (1931) publicou informações sobre a cultura do trigo e as conclusões de suas experiências em Araxá. Apesar das dificuldades encontradas, pela falta de germoplasma adaptado e ausência de informações de época de semeadura, o referido pesquisador considerou que as produtividades obtidas, em torno de 800 kg ha^{-1} , asseguravam o seu potencial para a região, visto que esta produtividade superava a média de países produtores de trigo como Canadá, Estados Unidos e Argentina.

O início do melhoramento genético do trigo em Minas Gerais pode ser atribuído aos trabalhos realizados por Grieder nos anos de 1928 a 1930 (Souza, 1999). A partir de 1934, tiveram-se início os trabalhos de melhoramento genético do trigo sob a liderança do pesquisador Ildefonso Ferreira Correia, na Estação Experimental de Belo Horizonte, pertencente ao Instituto Agrônomo de Minas Gerais (IAMG) e por Moacir Viana de Novais, na Estação Experimental da Cascata, no município de Patos de Minas, ambas as estações vinculadas ao Governo de Minas Gerais (Lagos, 1983). Como frutos desse trabalho foram selecionadas diversas cultivares tais como: Instituto, BH 4041, Horto e BH 1146. Entre estas, cabe destacar

a cultivar BH 1146 que se apresenta como muito bem adaptada às condições de cultivo de Minas Gerais.

Apesar de haver pouca informação documentada da evolução da pesquisa do trigo em Minas Gerais, da década de 1960 até início dos anos de 1970, os arquivos contendo relatórios técnicos transparecem certa redução das atividades neste período, principalmente no IAMG, onde não se constata o desenvolvimento de novas cultivares. Os trabalhos de melhoramento ficaram restritos às introduções de germoplasma de outras regiões do país. A desativação observada foi consequência da não expansão da triticultura no estado e de prioridade dada a outras culturas, reflexo da própria aceitação dos agricultores que não tinham a tradição de cultivar o trigo (Souza, 1999).

Em meados dos anos de 1970, estimulado pela busca da auto-suficiência, ocorreu à expansão do trigo para regiões não tradicionais. Neste sentido, a região do Brasil-Central despontava com seu potencial, visto que já existiam dados de pesquisas de produção de lavouras que davam este suporte. Diante dessa nova realidade, a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), criada em 1974, reiniciou a pesquisa com a cultura do trigo em 1975, numa ação conjunta com o Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (Souza, 1979). No início, a maior demanda de tecnologia era a indicação de cultivares, principalmente para cultivo sem irrigação na região do PADAP (Plano de Assentamento Dirigido do Alto Paranaíba). As primeiras cultivares recomendadas para esta nova situação de cultivo foram BH 1146, IAC 5-Maringá, IAS 55, IAS 54 e Londrina (Souza, 1999).

O trabalho da EPAMIG na área de melhoramento consistiu em introduzir e testar, em experimentos, cultivares de várias instituições nacionais e internacionais.

Neste último caso, germoplasma introduzido do CIMMYT (Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo), localizado no México, visando o cultivo com irrigação. O método de melhoramento por introdução teve grande sucesso, com a introdução de cultivares mexicanas, como por exemplo, a cultivar Anahuac.

A partir de 1985 até 1993, foi desenvolvido um programa de seleção em populações segregantes, inicialmente associado ao CPAC e, posteriormente, ao CNPT (Centro Nacional de Pesquisa de Trigo), da EMBRAPA de Passo Fundo-RS. A partir de 1993, a Universidade Federal de Viçosa (UFV), passou a integrar as ações de melhoramento do trigo no estado, realizando hibridações e introduções de linhagens do CIMMYT. Além das instituições já mencionadas anteriormente, a Cooperativa Agrícola de Cotia, em São Gotardo, transformada posteriormente em Cooperativa dos Produtores do PADAP, sempre esteve atuando em colaboração nos trabalhos de melhoramento do trigo naquela região (Souza, 1999).

Com os avanços das técnicas de melhoramento genético e de adaptação, o que a poucas décadas era imprevisível, hoje é uma irrefutável realidade. As condições de solo, clima e topografia, favoráveis ao cultivo de trigo, tanto de sequeiro como irrigado, em épocas e altitudes definidas pela pesquisa, faz do Brasil-Central região de enorme potencial para a expansão dessa cultura com a perspectiva de propiciar, em médio prazo, a tão sonhada auto-suficiência na produção nacional. Assim, a Comissão Centro-Brasileira de Pesquisa de Trigo (CCBPT) vem contribuindo para manter a triticultura como inquestionável alternativa de cultivo para os cerrados (Comissão..., 2005).

O cenário vislumbrado para a cultura de trigo nessa região é extremamente positivo. Muitos avanços foram conquistados, com a geração de conhecimentos que vêm consolidar a região na produção nacional de trigo. Entretanto, muitos desafios

surgirão, exigindo que o melhoramento genético e a adoção de tecnologias sejam cada vez mais eficientes.

Os trabalhos voltados para o melhoramento genético do trigo buscam contribuir para o incremento do rendimento de grãos e resistência a fatores bióticos (tolerância a pragas e doenças) e edafoclimáticos (tipo de solo, temperaturas, chuvas). Para isso, a rotina dos melhoristas consiste em explorar a variabilidade existente nesta espécie, selecionar genótipos desejáveis e testá-los em diferentes ambientes, para ajuste que permita a expressão máxima do seu potencial genético.

Desta forma, o melhoramento genético desempenha tarefa básica na obtenção de genótipos adaptados e superiores a serem utilizados por produtores. O melhoramento genético tem papel fundamental na viabilização das culturas, mediante o desenvolvimento de cultivares adaptadas a cada região. Por essa razão, as estimativas dos progressos genéticos alcançados pelos programas de melhoramento são instrumentos hábeis para quantificar a eficiência dos trabalhos executados por uma ou mais instituição de pesquisa. Além do mais, o conhecimento da eficiência do programa de melhoramento é importante para avaliar a estratégia do programa e economizar os recursos. A instalação de ensaios em rede para a avaliação de genótipos é um procedimento oneroso, e por essa razão existe a preocupação por parte dos pesquisadores em saber se as novas cultivares lançadas proporcionam avanço genético em relação às cultivares já comercializadas. Assim, é importante que se faça a avaliação do desempenho dos programas de melhoramento, para que se possam direcionar os futuros trabalhos de melhoramento genético.

Foram desenvolvidas várias metodologias que visam quantificar o progresso genético obtido pelos programas de melhoramento. Um dos procedimentos baseia-se em verificar em que proporção da área cultivada é adotada uma determinada cultivar

(Moresco, 2003). No entanto, o sucesso do programa baseado nesse procedimento pode não representar apenas o avanço genético, pois a adoção de uma cultivar envolve não apenas o potencial genético como também a habilidade da empresa no processo de difusão (Arias e Ramalho, 1998). Assim, diferentes métodos já foram desenvolvidos para a estimativa do progresso genético em programas de melhoramento, entre eles: a) Método direto; b) Método de Vencovsky et al. (1986); c) Método de Fernandes (1998); d) Método de Morais e Abbud (1993); e) Método de Breseguello et al. (1998); f) Método da regressão com dados originais; g) Método da testemunha como fator de correção; h) Método de regressão com dados standardizados; i) Método de Fonseca Júnior (1997).

O método direto consiste em comparar em um mesmo ano agrícola e vários ambientes, genótipos lançados em diferentes anos (Fonseca Júnior, 1997). Esta metodologia possui o inconveniente de ser bastante onerosa, pois além da necessidade de execução de experimentos específicos para esta finalidade, prevê ainda a comparação de cultivares antigas com recentes, necessitando desta forma, da disponibilidade de sementes com qualidade fisiológica satisfatória e do fato de que a tecnologia de produção é diferente entre as cultivares. Além dos problemas de rejuvenescimento das sementes de cultivares mais antigas, é comum que nem todas as cultivares, principalmente as mais antigas estejam disponíveis ao melhorista (Atroch e Nunes, 2000). Outro inconveniente são as mudanças ambientais ocorridas no decorrer dos anos que podem não ocorrer no ano de execução do experimento. Portanto, não basta apenas um ano agrícola para estimar o progresso genético com segurança e representatividade (Fonseca Júnior, 1997).

Para contornar o problema de execução de experimentos para quantificar o progresso genético, foi proposta uma metodologia por Vencovsky et al. (1986), a

qual utiliza os resultados dos experimentos de avaliação de cultivares conduzidas por vários anos. Considerando que nesses experimentos algumas cultivares são substituídas periodicamente por outras supostamente melhores, pode-se avaliar a eficiência em função da superioridade genética das cultivares presentes nos experimentos em determinado ano, em relação à dos anos anteriores.

O método de Vencovsky et al. (1986) vem sendo bastante utilizado em trabalhos que estimam a contribuição do melhoramento genético em condições brasileiras para várias culturas (Soares et al., 1994; Carvalho et al., 1997; Fonseca Júnior, 1997; Arias e Ramalho, 1998; Atroch e Nunes, 2000; Moresco, 2003). Nesta metodologia, a diferença entre a produtividade média dos tratamentos comuns, a cada par de anos, é utilizada para estimar o efeito do ano. O avanço genético anual é obtido pela diferença entre a produtividade média dos genótipos não comuns de um ano e a do ano imediatamente anterior, excluindo-se o efeito do ano (Vencovsky et al., 1986).

Trabalhando com dados do experimento nacional de milho, Fernandes (1998) propôs modificação no método de Vencovsky et al. (1986) para estimativa do progresso genético e ambiental, utilizando o método dos quadrados mínimos ponderados (QMP). As diferenças entre as estimativas obtidas através dos métodos de Vencovsky et al. (1986) e Fernandes (1998) ocorre porque a primeira metodologia considera os genótipos que são comuns de um ano para outro, enquanto a segunda considera os genótipos não comuns. No entanto, trabalhos com essas metodologias constataam que as estimativas de ganhos genéticos anuais são muito semelhantes (Arias, 1996; Atroch e Nunes, 2000).

O método de Moraes e Abbud (1993) é praticamente igual ao de Fernandes (1998), diferindo apenas na maneira de compor a matriz de ponderação, cujos

coeficientes das variâncias e covariâncias baseiam-se no número de observações de cada média que participa nos cálculos, bem como utiliza os quadrados médios dos erros anuais e não apenas o quadrado médio do erro da análise conjunta para efetuar a ponderação. Esta metodologia foi proposta por Moraes e Abbud (1993) e implementada por Breseguello (1995) no estudo do progresso genético do arroz irrigado no Nordeste brasileiro. Entretanto, não foi amplamente adotada para estimação de progresso genético, pois em seguida foi aperfeiçoada por Breseguello et al. (1998).

A metodologia de Breseguello et al. (1998) também prevê a estimativa do progresso genético através dos resultados dos experimentos regionais de avaliação de linhagens e cultivares e consiste basicamente em quatro passos: a) análise conjunta da série de dados dos experimentos regionais através de um modelo linear generalizado de forma a obter médias ajustadas dos genótipos e a matriz de covariância destas médias; b) para o grupo de genótipos avaliados em cada ano, cálculo da média aritmética das médias ajustadas obtidas na análise conjunta; c) comparação direta dos anos, conforme as médias aritméticas obtidas, e d) estimativa de ganho genético médio, por regressão. Aplicando-se o método de quadrados mínimos generalizados, é calculada uma estimativa ponderada do ganho genético médio no período. Segundo Breseguello et al. (1998) este método permite melhor cancelamento das interações genótipos x anos e genótipos x experimentos/ano, resultando assim, em estimativas mais precisas.

Por meio da utilização de um genótipo referencial, que geralmente é uma testemunha ao longo de todos os anos testados, pode-se estimar o ganho genético. Abreu et al. (1994) estabeleceram duas equações de regressão linear, uma para a cultivar padrão e a segunda para os demais genótipos, onde a variável dependente

(Y) representa as médias originais da produção de grãos e a variável independente (X) corresponde aos anos de experimentação. Em seguida, compara-se os coeficientes angulares (b) de ambas as regressões, mediante a subtração de b de genótipos menos b da testemunha e se obtém a estimativa do ganho genético médio anual. Ressalta-se que esta metodologia é altamente dependente do efeito do ano agrícola, visto que apenas um genótipo, a testemunha comum, é utilizada para indicar as variações ambientais que ocorrem nos diferentes anos.

Segundo Fonseca Júnior (1997), outro modo de estimação do progresso genético mediante a referência de testemunha comum a todos os experimentos, é considerar sua produtividade como covariável da produtividade dos demais genótipos, obtendo-se médias ajustadas, livres do efeito ambiental, à semelhança da correção da produtividade de grãos em função do número de plantas na parcela. Com as médias anuais ajustadas efetua-se o estudo de regressão em função dos anos e pelo coeficiente angular (b) estima-se o ganho genético médio anual.

Outro método baseado em regressão foi proposto por Fonseca Júnior (1997) e difere do anterior por standardizar as médias dos tratamentos genéticos novos e da testemunha. A finalidade desta standardização é a eliminação do efeito de ano e o aumento da precisão da estimativa de ganho genético médio. Uma vez obtidos os dados transformados pode-se utilizar qualquer método já descrito para estimar o ganho genético.

Por fim, a metodologia de Fonseca Júnior (1997), propriamente dita, consiste em estimar os efeitos dos genótipos, podendo-se estimar as médias ajustadas para cada genótipo. Este procedimento é mais seguro que a seleção realizada com base nas médias originais, visto que as médias ajustadas têm menor influência do erro experimental e do ambiente. De posse das médias ajustadas gerais dos genótipos

pode-se utilizar o método da regressão linear para estimar o ganho genético médio anual.

A utilização de uma ou de outra metodologia vai depender da disponibilidade de testemunhas comuns durante todo o período de avaliação que são exigidos pelos métodos da regressão (Soares, 1992), ou de algumas cultivares comuns a cada par de anos, usadas para isolar o efeito ambiental, como no caso do método de Vencovsky et al. (1986). Os métodos baseados em regressão têm ainda a desvantagem de só terem validade se houver bom ajustamento do modelo de regressão. De fato, muitos são os trabalhos que utilizam mais de uma metodologia para a estimação do progresso genético (Soares, 1992; Arias, 1996; Silva, 1996; Atroch e Nunes, 2000; Moresco, 2003), porém, em todos eles para períodos de avaliação menores de 12 anos. Muitas são as alternativas de metodologia para a estimação do progresso genético, porém nem todas podem ser aplicadas a todos os conjuntos de dados existentes.

Apesar das várias metodologias existentes, as estimativas de progresso genético encontradas em muitos trabalhos são semelhantes. Visando quantificar o ganho genético do arroz em Minas Gerais no período de 1979/1980 a 1988/1989, Soares (1992) utilizou as metodologias de Vencovsky et al. (1986) e da regressão linear das médias ajustadas e verificou que as estimativas das duas metodologias foram igualmente eficientes na determinação do progresso genético. Também em arroz, Silva (1996) constatou que o ganho genético médio anual no período de 1983/1984 a 1994/1995 no Espírito Santo, estimado pelo método de Vencovsky et al. (1986) foi de $137,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e pelo método dos quadrados mínimos ponderados (Fernandes, 1998) foi de $137,06 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Este autor utilizou ainda o método da regressão linear das médias ajustadas, que indicou ganho genético de $50,06 \text{ kg ha}^{-1}$

ano⁻¹; entretanto, esta estimativa revelou-se não confiável ($R^2 = 0,23^{ns}$), em função das oscilações das médias de produção de grãos observadas no período. Resultados semelhantes foram encontrados por Atroch e Nunes (2000) utilizando a metodologia de Vencovsky et al. (1986) e de quadrados mínimos ponderados.

Mais recentemente, Moresco (2003) estimou o progresso genético do algodão em caroço no Mato Grosso, no período de 1989 a 2001. As estimativas de ganho genético médio anual obtido foram de 97,27 kg ha¹ ano⁻¹ pelo método de Vencovsky et al. (1986), de 77,04 kg ha¹ ano⁻¹ pelo método de Breseguello et al. (1998) e de 86,93 kg ha¹ ano⁻¹ pelo método de Fonseca Júnior (1997), indicando a grande eficiência dos programas de melhoramento na obtenção de novas cultivares. No entanto, segundo Moresco (2003) a metodologia de Vencovsky et al. (1986) apresentou resultados que refletem melhor a realidade de adoção pelos agricultores das cultivares lançadas. Este fato também é relatado por Arias (1996). De acordo com esse autor, anualmente são recomendadas certo número de cultivares, porém, somente uma parte dos agricultores, os mais inovadores, adota essas cultivares. Uma parcela considerável decide continuar com as cultivares utilizadas nos anos anteriores. Soares et al. (1994) considera ainda esta metodologia mais flexível, permitindo que o programa de avaliação de cultivares seja mais dinâmico.

Para a cultura do trigo, em Minas Gerais, não há relatos na literatura de estimativas do progresso genético. Entretanto, avaliando o ganho genético de novas cultivares de trigo no Sul do Brasil, Nedel (1994) encontrou que a produção de grãos das cultivares novas foi substancialmente maior do que as das cultivares mais antigas, pois foram obtidos incrementos de 17,3 kg ha⁻¹ ano⁻¹, no período de 1940 a 1992. No entanto, este autor utilizou apenas amostra de apenas 15 cultivares de trigo lançadas nos 52 anos de seu estudo. No México, a taxa anual média estimada de

aumento na produção de grãos para os períodos de 1960/1971 e 1971/1985 foi de 251 kg ha⁻¹ e 121 kg ha⁻¹, respectivamente (Waddington et al., 1987). Ainda no México, Sayre et al. (1997) avaliaram o progresso genético de cultivares lançadas pelo CIMMYT no período de 1962 a 1988, em 67 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Também com cultivares do CIMMYT, Sayre et al. (1998) estimaram o progresso genético com e sem aplicação de fungicida para o período de 1966 a 1988. Neste trabalho os autores verificaram que o progresso genético é limitado pela aplicação de fungicida, uma vez que as estimativas de ganho foram de 31,6 e 95,6 kg ha⁻¹ ano⁻¹ com e sem aplicação de fungicida, respectivamente. Todos os trabalhos utilizaram o método direto para estimar o progresso genético e considerando o enorme efeito do ambiente na determinação do progresso genético, estes trabalhos deveriam ter sido avaliados em mais de um ano agrícola para melhor eliminar a influência de anos.

No Brasil têm sido realizados vários trabalhos em diversas culturas visando avaliar o progresso genético obtido com os programas de melhoramento. O melhoramento de soja, segundo Toledo et al. (1990), resultou em ganhos anuais de 1,3% a 1,8%, no Paraná, no período de 1981 a 1986. O sorgo aumentou a produtividade, em média, 1,5% ao ano, no período de 1974 a 1988 (Rodrigues, 1990). Na cultura do arroz, Abbud (1991) estimou ganho de 1,3% ao ano, no período de 1975 a 1988, no Paraná; Soares et al. (1999) estimou o progresso em 0,84% a 1,6% ao ano, em Minas Gerais; e Breseghello et al. (1999), no período de 1984 a 1993, no nordeste brasileiro, estimou o ganho genético para esta cultura em 0,77% ao ano. Carvalho et al. (1997), avaliando o progresso genético de algodão herbáceo no Nordeste brasileiro, obtiveram ganho de 1,03% ao ano para o rendimento de algodão em caroço. Na região Centro-Oeste brasileiro, Moresco (2003), estimou o progresso genético do algodão em caroço em 3,8% ao ano.

Por fim, o melhoramento genético com a cultura do trigo tem desempenhado importante papel no progresso desta espécie, pois, é por meio dele que o agricultor pode dispor de cultivares com alto potencial produtivo e com caracteres agronômicos que conferem estabilidade de produção e boa aceitação pelo mercado consumidor.

Enfim, decorridos mais de 70 anos desde o início do melhoramento do trigo em Minas Gerais, claramente observa-se uma mudança no perfil das cultivares. O patamar de produtividade das cultivares atuais supera em média os 2.000 kg ha⁻¹ em cultivo de sequeiro e mais de 5.000 kg ha⁻¹ no irrigado, diferentemente daquelas relatadas na década de 1930. Recentemente, foi obtido recorde nacional de produtividade, com a cultivar BRS 207 produzindo 7.920 kg ha⁻¹, no cultivo irrigado. Entretanto, há de se considerar que em áreas experimentais o recorde mundial já ultrapassou os 15.000 kg ha⁻¹ e, no Brasil 10.000 kg ha⁻¹ (Fronza, 2005).

Assim, considerando que até o presente momento não foi estimado o progresso genético com a cultura do trigo em Minas Gerais, a realização deste trabalho teve como objetivos gerais: quantificar o progresso genético obtido pelos programas de pesquisa do trigo nos sistemas irrigado e sequeiro, no Estado de Minas Gerais, no período de 1976 a 2005.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBUD, N.S. **Melhoramento genético do arroz (*Oryza sativa* L.) no Estado do Paraná de 1975 a 1989**. 1991. 141p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- ABREU, A.F.B.; RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; MARTINS, L.A. Progresso do melhoramento genético do feijoeiro nas décadas de setenta e oitenta nas regiões Sul e Alto Paranaíba em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, p.105-112, 1994.
- ARIAS, E.R.A. **Adaptabilidade e estabilidade das cultivares de milho avaliadas no Estado de Mato Grosso do Sul e avanço genético obtido no período de 1986/87 e 1993/94**. 1996. 118p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- ARIAS, E.R.A.; RAMALHO, M.A.P.; Progresso genético em milho no estado de Mato Grosso do Sul, no período de 1986/1987 a 1993/1994. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.1549-1554, 1998.
- ATROCH, A.L.; NUNES, G.H.S. Progresso genético em arroz de várzea úmida no Estado do Amapá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.767-771, 2000.
- AGRIANUAL 2001: **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: Agros Comunicação/FNP Consultoria e Comércio, 2000. 545p.
- AGRIANUAL 2005: **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: Agros Comunicação/FNP Consultoria e Comércio, 2004. 521p.
- BRESEGHELLO, F. **Ganhos para produtividade pelo melhoramento genético do arroz irrigado no Nordeste do Brasil**. 1995. 93p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- BRESEGHELLO, F.; MORAIS, O.P.; RANGEL, P.H.N. A new method to estimate genetic gain in annual crops. **Genetics and Molecular Biology**, v.21, p.551-555, 1998.
- BRESEGHELLO, F.; NAKANO, P.H.R.; MORAIS, O.P. Ganho de produtividade pelo melhoramento genético do arroz irrigado no Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.399-407, 1999.
- CARGNIN, A.; SOUZA, M.A.; CARNEIRO, P.C.S.; SOFIATTI, V. Interação entre genótipos e ambientes e implicações em ganhos com seleção em trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.987-993, 2006.
- CARVALHO, L.P.; BARBOSA, M.H.P.; COSTA, J.N.; FARIAS, F.J.C.; SANTANA, J.C.F.; ANDRADE, F.P. Progresso genético do algodoeiro herbáceo no Nordeste. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, p.283-291, 1997.

- COMISSÃO CENTRO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 13., 2005, Goiânia. **Indicações técnicas para a cultura de trigo na região do Brasil Central: safras 2005 e 2006.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2005. 85p.
- FERNANDES, J.S.C. **Estabilidade ambiental de cultivares de milho (*Zea mays* L.) na região Centro Sul do Brasil.** 1998. 94p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- FONSECA JÚNIOR, N.S. da. **Progresso genético na cultura do feijão no Estado do Paraná para o período de 1977 a 1995.** 1997. 160p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- FRONZA, V. Contribuição do melhoramento genético no agronegócio trigo para o Brasil. **SBMP Notícias**, n.5, p.1-2, 2005.
- GOMES, E. Comercialização do trigo nacional. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.9, p.69-70, 1983.
- GRIEDER, A. A cultura do trigo em Minas. **Boletim da Agricultura, Zootecnia e Veterinária**, Belo Horizonte, v.2, p.18-45, 1929.
- GRIEDER, A. Centeio, trigo, cevada e aveia. **Boletim da Agricultura, Zootecnia e Veterinária**, Belo Horizonte, v.4, p.5-34, 1931.
- LAGOS, M.B. **História do melhoramento do trigo no Brasil.** Porto Alegre: IPAGRO, 1983. 80p.
- MORAIS, O.P.; ABBUD, N.S. **Subsídios para avaliação do progresso genético dos programas estaduais de melhoramento de arroz no Brasil.** Goiânia: EMBRAPA, CNPAF, 1993, 26p.
- MORESCO, E.R. **Progresso genético no melhoramento do algodoeiro no Estado de Mato Grosso.** 2003. 79p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- NEDEL, J.L. Progresso genético no rendimento de grãos de cultivares de trigo lançadas para cultivo entre 1940 e 1992. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, p.1565-1570, 1994.
- RODRIGUES, J.A.S. **Progresso genético e potencial de risco da cultura do sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) no Brasil.** 1990. 171p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- SAYRE, K.D.; SINGH, R.P.; HUERTA-ESPINO, J.; RAJARAM, S. Genetics progress in reducing losses to leaf rust in CIMMYT-derived Mexican spring wheat cultivars. **Crop Science**, v.38, p.654-659, 1998.
- SAYRE, K.D.; RAJARAM, S.; FISCHER, R.A. Yield potential progress in short bread wheats in northwest Mexico. **Crop Science**, v.37, p.36-42, 1997.

- SOARES, A.A. **Desempenho do melhoramento genético do arroz de sequeiro e irrigado na década de oitenta em Minas Gerais.** 1992. 188p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- SOARES, A.A.; SANTOS, P.G.; MORAIS, O.P.; SOARES, P.C.; REIS, M.S.; SOUZA, M.A. Progresso genético obtido pelo melhoramento de arroz de sequeiro em 21 anos de pesquisa em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.415-24, 1999.
- SOARES, A.A.; RAMALHO, M.A.P.; SOUZA, A.F. de. Estimativa do progresso genético obtido pelo programa de melhoramento de arroz irrigado da EPAMIG, na década de oitenta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, p.97-104, 1994.
- SOUZA, M.A. **Controle genético e resposta ao estresse de calor de cultivares de trigo.** 1999. 152p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- SOUZA, M.A. Época de plantio para a cultura do trigo em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.9, p.38-42, 1983.
- SOUZA, M.A. Variedades de trigo para Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.5, p.28-31, 1979.
- SOUZA, M.A.; RAMALHO, M.A.P. Controle genético e tolerância ao estresse de calor em populações híbridas e em cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1245-1253, 2001.
- SILVA, A.F. da. **Contribuição do melhoramento genético do arroz irrigado por inundação para rendimento de grãos, no período de 1983/84 a 1994/95, no Estado do Espírito Santo.** 1996. 106p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- STRESSER, R. Comercialização e industrialização do trigo nacional. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.5, p.62-65, 1979.
- TOLEDO, J.F.F.; ALMEIDA, L.A.; KIIHL, R.A.S.; MENOSSO, O.G. Ganho genético em soja no Estado do Paraná via melhoramento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, p.89-94, 1990.
- VENCOVSKY, R.; MORAES, A.R.; GARCIA, J.C.; TEIXEIRA, N.M. Progresso genético em vinte anos de melhoramento do milho no Brasil. In: CONGRESSO DE MILHO E SORGO, 9., 1986, Belo Horizonte. **Anais...**, Sete Lagoas: Embrapa CNPMS, 1986. p.300-307.
- WADDINGTON, S.R.; OSMANZAI, M.; YOSHIDA, M.; RANSOM, J.K. The yield of durum wheats released in México between 1960 and 1984. **Journal of Agricultural Science**, v.108, p.469-477, 1987.

CAPITULO I

Progresso genético em 30 anos de melhoramento do trigo irrigado em Minas

Gerais

Resumo – Neste trabalho objetivou-se quantificar o progresso genético obtido pelos programas de melhoramento do trigo irrigado no Estado de Minas Gerais no período de 1976 a 2005. A eficiência dos programas de melhoramento de trigo irrigado foi estudada, utilizando-se os dados de produtividade de grãos obtidos nos ensaios de valor de cultivo e uso. Os ensaios foram conduzidos em parceria, por instituições federais e estaduais de pesquisa agropecuária, abrangendo 19 locais do Estado de Minas Gerais, no período de 1976 a 2005. Para a estimativa do progresso genético e ambiental foi utilizada a metodologia de Vencovsky e colaboradores. O progresso genético médio anual estimado no período de 1976 a 2005 foi de $48 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (1,84 % ao ano) na produtividade média de grãos. O ganho genético, em produtividade, obtido no período estudado, indica que os programas de melhoramento de trigo irrigado em Minas Gerais são eficientes comparados com outros programas. Apesar de o ganho genético ter contribuído expressivamente, as melhorias ambientais e tecnológicas foram importantes para o acréscimo na produtividade no período, representando 32,8% do progresso total obtido. Além disso, os programas de melhoramento de trigo irrigado promovem 33% de renovação de genótipos ao longo dos anos.

Termos para indexação: *Triticum aestivum* L., avaliação de genótipos, melhoramento, ganho genético.

Genetic progress in 30 years of improvement of irrigated wheat in Minas Gerais State

Abstract – This study focused on the quantification of the genetic progress achieved by improvement programs of irrigated wheat in the state of Minas Gerais between 1976 and 2005. The efficiency of the programs was analyzed based on grain yield data from VCU trials (Value for Cultivation and Use). The trials were conducted in partnership of federal and state agricultural research institutions at 19 sites in Minas Gerais, from 1976 to 2005. A methodology of Vencovsky was used to estimate the genetic and environmental progress. The mean estimated genetic progress for mean grain yield between 1976 and 2005 was 48 kg ha⁻¹ year⁻¹ (1.84% year). The genetic yield gain in the study period indicates that the improvement programs of irrigated wheat in Minas Gerais were effective. Although the contribution of the genetic gain was expressive, the environmental and technological improvements were also important for the yield increase, accounting for 32.8% of the total progress in the period. The improvement programs of irrigated wheat resulted in a genotype renovation of 33% over the years.

Index terms: *Triticum aestivum* L., genotype evaluation, improvement, genetic gain.

Introdução

Desde que foi introduzida no Brasil, à cultura do trigo localizou-se predominantemente na zona de clima temperado, estendendo-se do Rio Grande do Sul até o Paraná. Muitos pesquisadores julgavam essa região a mais adequada para a produção comercial desse cereal. No entanto, a partir da década de 1970, a cultura do trigo tem-se expandido para o Centro-Oeste brasileiro, sendo cultivada em solos

cobertos com vegetação de cerrado, e tem-se mostrado bastante promissora (Souza, 1999; Souza e Ramalho, 2001; Cargnin et al., 2006). Todavia, o potencial dessa região, já havia sido ressaltado nos primeiros relatos de pesquisas realizadas ainda no ano de 1928, na região de Araxá, em Minas Gerais (Grieder, 1929).

O cultivo de trigo com irrigação pode ser efetuado em quase todo o Estado de Minas Gerais, abrangendo todas aquelas áreas com altitude superior a 400 m e, por não ser hospedeiro de doenças como a esclerotínia, rizoctoniose e fusariose, atualmente, constitui-se na principal alternativa para a rotação de culturas com o feijão, no período do outono-inverno (Comissão..., 2005). No cultivo de trigo irrigado no Estado de Minas Gerais, a semeadura é realizada de 10 de abril até 31 de maio.

Considerando as regiões do Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba, Alto São Francisco e Noroeste do Estado de Minas Gerais, há mais de 100.000 ha irrigados por pivô central, cuja maioria é ocupada pelo feijão, havendo áreas que, pela falta de rotação de culturas, já estão seriamente contaminadas com fungos de solo. Este é o caso da região Noroeste do Estado, principalmente no município de Unaí, onde o interesse pelo trigo tem aumentado nos últimos anos. Por outro lado, a região do PADAP (Programa de Assentamento Dirigido do Alto Paranaíba), abrangendo principalmente os municípios de São Gotardo e Rio Paranaíba, já se tornou tradicional neste tipo de cultivo, iniciado a partir de 1983. No período do outono-inverno, as áreas irrigadas por pivô central não podem ser cultivadas com feijão ou milho, devido às baixas temperaturas e nem ser ocupadas totalmente por olerícolas, como cebola, alho, cenoura e batata, muito habituais nesta região.

O melhoramento genético desempenha tarefa básica na obtenção de genótipos adaptados e superiores a serem utilizados por produtores. Assim, o melhoramento

genético também tem papel fundamental na viabilização da cultura do trigo, mediante o desenvolvimento de cultivares adaptadas a determinadas regiões. Por essa razão, as estimativas dos progressos genéticos alcançados pelos programas de melhoramento são instrumentos hábeis para se quantificar a eficiência dos trabalhos executados por uma ou mais instituição de pesquisa. Além do mais, o conhecimento da eficiência do programa de melhoramento é importante para avaliar a estratégia e economizar recursos. A instalação de ensaios de avaliação de cultivares denominados VCU (valor de cultivo e uso) é um procedimento oneroso. Por essa razão, existe a preocupação por parte dos pesquisadores, antes do lançamento de novas cultivares, em saber o quanto as novas linhagens desenvolvidas são superiores e se realmente proporcionam avanço genético em relação às cultivares já comercializadas. Assim, é importante que se faça a avaliação do desempenho dos programas de melhoramento, para que se possam direcionar os futuros trabalhos de melhoramento genético.

Avaliando o ganho genético de novas cultivares de trigo no Sul do Brasil, Nedel (1994) encontrou que o rendimento de grãos das cultivares novas foi substancialmente maior do que o das cultivares mais antigas, pois foram obtidos incrementos de $17,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, no período de 1940 a 1992. Porém, foi utilizado uma amostra de apenas 15 cultivares para estimar o progresso de 52 anos, o qual foi realizado pelo método direto. Por outro lado, Mellado (2000), avaliando as cultivares obtidas em diferentes períodos pelo Programa de Melhoramento Genético do Trigo desenvolvido no Chile, não constatou ganhos genéticos para a produtividade de grãos, sendo que, em geral, a substituição das cultivares foi devida, principalmente, à melhor sanidade.

Algumas metodologias foram desenvolvidas com o intuito de quantificar o progresso genético obtido com o melhoramento. Uma das alternativas é realizar

experimentos com amostras de cultivares utilizadas nos períodos a serem comparados. Nesse caso, as cultivares mais antigas são comparadas com as mais recentes. Contudo, o custo com tais experimentos é alto, além do fato de que nem todas as cultivares desenvolvidas em determinado período podem estar disponíveis ao melhorista.

Assim, é necessária a procura de métodos alternativos na determinação do progresso genético. O ideal é que sejam utilizadas as informações já disponíveis no decorrer dos ensaios (Atroch e Nunes, 2000). Dessa forma, Vencovsky et al. (1986) sugeriram uma alternativa que utiliza os dados dos ensaios de avaliação de cultivares conduzidos pelas instituições de pesquisa. Este método vem sendo utilizado em vários trabalhos que estimam a contribuição do melhoramento genético aplicado em condições brasileiras para várias culturas (Moresco, 2003).

Dessa forma, a realização deste trabalho teve como objetivo quantificar o progresso genético obtido pelos programas de pesquisa do trigo irrigado no Estado de Minas Gerais no período de 1976 a 2005.

Material e Métodos

Foram utilizados os dados de produtividade de grãos obtidos de ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) de trigo irrigado realizados no Estado de Minas Gerais, conduzidos sob a coordenação da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) em parceria com outras instituições, no período de 1976 a 2005. Nos ensaios, anualmente, os genótipos (cultivares e/ou linhagens) que não apresentaram bom desempenho foram descartados e substituídos por outros. Por outro lado, um grupo de genótipos que apresentaram bom desempenho, foram

mantidos para a avaliação no ano posterior, sendo assim, comuns a dois ou mais anos de avaliação dependendo de sua performance anual.

Os ensaios foram conduzidos em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições na maioria dos anos. Os dados utilizados foram as médias de produtividade de grãos das cultivares e/ou linhagens em cada ano. Assim, as médias são repetidas k vezes em relação a cada genótipo, em função do número de ensaios e do número de repetições. As sementeiras foram realizadas dentro do período recomendado, que vai de 10 de abril até 31 de maio. Os ensaios que deram origem aos dados utilizados foram conduzidos em 19 locais do Estado de Minas Gerais (Tabela 1).

Nestes experimentos não foram realizadas aplicações de fungicidas, com exceção dos ensaios conduzidos em São Gotardo. Os demais tratamentos culturais foram todos realizados conforme as indicações técnicas para a cultura vigentes na época da condução dos experimentos.

Para o cálculo do progresso genético foi utilizada a metodologia de Vencovsky et al. (1986). Esta metodologia permite o cálculo da estimativa do progresso médio a partir de informações de conjuntos de genótipos avaliados num determinado período de tempo. Considera-se que, a cada ano, novos genótipos são produzidos pelos programas de melhoramento e incluídos em ensaios de competição juntamente com outros, que se mantêm pela sua capacidade produtiva, adaptabilidade. Também ocorre a exclusão de genótipos que, por algum motivo, vão sendo gradativamente superados.

Tabela 1 – Referências geodésicas dos locais dos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) de trigo irrigado, conduzidos no Estado de Minas Gerais, durante o período de 1976 a 2005 e normais climatológicas da estação meteorológica mais próxima.

Local	Alt. (m)	Lat. (S)	Long. (W)	TMe (°C)	TMáx (°C)	TMín (°C)	Precip. (mm)
Capinópolis	620	18,6	49,5	20,0	27,2	14,5	180,6
Careaçú	830	22,0	45,7	16,5	25,7	9,9	249,9
Conquista	670	19,9	47,5	20,4	28,3	14,5	265,5
Coromandel	1.150	18,5	46,9	20,0	27,2	14,5	180,6
Indianópolis	800	19,0	47,9	19,2	25,6	14,2	266,9
Iraí de Minas	1.000	18,9	47,4	20,6	26,3	16,0	180,6
Janaúba	430	15,8	43,3	21,2	28,8	14,6	83,1
Lavras	920	21,2	45,0	17,7	25,2	12,5	256,2
Paracatu	710	17,2	46,8	21,3	28,6	15,4	169,3
Patos de Minas	830	18,5	46,5	20,0	27,2	14,5	180,6
Patrocínio	950	19,9	48,0	20,0	27,2	14,5	180,6
Perdizes	1.080	19,4	47,2	19,2	25,6	14,2	266,9
Porteirinha	750	15,7	43,0	21,2	28,8	14,6	83,1
Prudente de Morais	750	19,4	44,1	19,4	27,5	14,0	146,7
Rio Paranaíba	1.130	19,1	46,1	19,2	25,6	14,2	266,9
Tupaciguara	860	18,5	48,7	20,4	28,3	14,5	265,5
Uberaba	980	19,5	47,9	20,4	28,3	14,5	265,5
Unaí	900	16,3	46,9	21,3	28,6	15,4	169,3
Viçosa	650	20,7	42,8	17,4	24,9	12,2	195,0

Alt. – altitude média; Lat. – latitude; Long. – longitude; TMe – média da temperatura média; TMáx – média da temperatura máxima; TMín – média da temperatura mínima e Precip. – precipitação total.

OBS: as médias de temperatura e precipitação total foram obtidas das médias históricas entre os meses de Abril a Setembro de 1961 a 1990. Estes meses correspondem ao período de cultivo do trigo irrigado em Minas Gerais.

A diferença entre a produtividade média dos genótipos comuns a cada par de anos é utilizada para estimar o efeito do ano. O avanço genético anual é obtido pela diferença entre a produtividade média dos genótipos de um ano e a do ano imediatamente anterior, excluindo-se o efeito do ano. Assim, considerando-se dois anos consecutivos, o ganho genético é estimado pela diferença genética, de acordo com a expressão: $dg_{21} = dt_{21} - da_{21}$, sendo: $dt_{21} = (\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1)$, a diferença total entre a média de todos os tratamentos do ano 2 e a de todos os tratamentos no ano 1, onde \bar{Y}_2 e \bar{Y}_1 são as médias de todos os tratamentos nos anos 2 e 1, respectivamente;

$da_{21} = (\bar{Y}_{(21)2} - \bar{Y}_{(21)1})$, a diferença ambiental obtida entre a média do grupo de genótipos comuns ao par de anos 2 e 1, em que $\bar{Y}_{(21)2}$ e $\bar{Y}_{(21)1}$ são as médias dos genótipos comuns aos dois anos, obtidas nos anos 2 e 1, respectivamente.

Deste modo, são obtidas as estimativas do acréscimo na variável em consequência da melhoria do material genético disponível e das condições ambientais. Tendo-se “a” anos obtém-se “a-1” diferenças genéticas e ambientais entre cada par de anos sucessivos. A soma de todos os valores dg e da representa os acréscimos na variável, do início ao fim do período, devido ao melhoramento genético e ambiental ao longo dos anos estudados. Para se obter o acréscimo médio por ano, divide-se o progresso acumulado pelo número de anos no período. Esta última estimativa, dividida pela média geral dos experimentos do primeiro ano (média de referência), multiplicada por 100, fornece o ganho genético médio anual em porcentagem (Vencovsky et al., 1986). A significância da estimativa do ganho genético médio anual foi verificada pelo teste t; $t = \frac{\hat{g} - 0}{\hat{s}(\hat{g})}$ com $n - 2$ graus de

liberdade; sendo $\hat{s}(\hat{g}) = \sqrt{\frac{1}{n} \left(\frac{\sum (\hat{g} - \hat{g})^2}{n - 1} \right)}$, conforme Moresco (2003).

Foram estimadas também as taxas de genótipos incluídos (%I), excluídos (%E), mantidos (%M) e renovados (%R) de um ano para outro, conforme as

seguintes equações em valores percentuais: $\%I = \frac{100I}{M + E + I}$; $\%E = \frac{100E}{M + E + I}$;

$\%M = \frac{100M}{M + E + I}$ e $\%R = \frac{100I}{M + I}$, sendo: I: número de genótipos incluídos no ano

subseqüente; E: número de genótipos excluídos no ano anterior; M: número de genótipos mantidos de um ano para outro.

Todas as análises foram realizadas com o auxílio do programa GENES – Aplicativo computacional em genética e estatística desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa (Cruz, 2006).

Resultados e Discussão

Na Tabela 2 estão relacionados o número de ensaios, número de genótipos e as médias de produtividade de grãos das cultivares/linhagens em cada ano, nos ensaios de valor de cultivo e uso ao longo do período avaliado. O número de ensaios por ano agrícola variou de um a oito, totalizando 116 ensaios, número bastante semelhante quando comparado com outros trabalhos de progresso genético em outras culturas como arroz (Breseghello et al., 1999), mas não compreendendo um período de anos tão grande como no presente estudo. O número de genótipos avaliados em cada ano variou de 14 a 29, totalizando 193 genótipos avaliados no período.

Houve aumento na produtividade média de grãos das cultivares avaliadas em cada ano, ao longo do período de 1976 a 2005, evidenciando ganho na produtividade, o qual foi maior nos primeiros dez anos (Tabela 2). Na década de 1970, a produtividade média das lavouras situava-se em torno de 2.000 kg ha⁻¹; atualmente, este valor ultrapassa a barreira dos 4.000 kg ha⁻¹ em média; contudo, há locais com altitude média superior a 800 m onde a produtividade supera os 7.500 kg ha⁻¹ (Embrapa Trigo, 2004; Fronza, 2005; IBGE, 2006).

Tabela 2 - Número de ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) utilizados, número de genótipos avaliados e produtividade média anual de trigo irrigado no Estado de Minas Gerais, no período de 1976 a 2005.

Ano	Número de ensaios	Número de genótipos	Produtividade (kg ha⁻¹)
1976	1	16	2.604
1977	4	25	2.076
1978	3	18	2.377
1979	2	20	2.656
1980	2	22	2.146
1981	2	25	3.007
1982	2	29	2.267
1983	4	21	2.566
1984	4	18	3.124
1985	5	16	3.841
1986	6	14	3.438
1987	4	18	3.830
1988	5	20	3.481
1989	4	20	4.228
1990	4	18	3.314
1991	4	20	3.665
1992	2	20	4.777
1993	2	20	4.446
1994	4	20	4.714
1995	5	15	3.445
1996	6	15	4.331
1997	5	16	3.978
1998	1	16	5.045
1999	3	22	4.450
2000	2	23	3.695
2001	3	15	3.746
2002	7	24	3.845
2003	6	23	3.945
2004	8	20	4.268
2005	6	24	4.746
Período	116	193	3.602

A taxa de substituição genotípica quantifica o dinamismo do programa de melhoramento, fornecendo a taxa de genótipos incluídos, excluídos, mantidos e renovados de um ano para o outro (Cruz e Carneiro, 2003). Verifica-se, na Tabela 3, que os programas de melhoramento de trigo irrigado foram capazes de promover boa taxa de renovação de genótipos ao longo de todo o período avaliado, com taxa média

de 33%, demonstrando o dinamismo dos programas de melhoramento em termos de liberar cultivares, fornecendo novas opções de cultivo para o agricultor. Soares et al. (1999) e Atroch e Nunes (2000), em arroz, encontraram taxas de renovação de 44% e 46% respectivamente, e relataram que esses valores evidenciam alta vitalidade dos programas de melhoramento.

Tabela 3 - Taxas de substituição de genótipos (%), nos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) de trigo irrigado em cada par de anos, no período de 1976 a 2005, no Estado de Minas Gerais.

Par de Anos	Inclusão	Exclusão	Manutenção	Renovação
1977/1976	43	11	46	48
1978/1977	17	40	43	28
1979/1978	33	26	41	45
1980/1979	23	15	62	27
1981/1980	15	4	81	16
1982/1981	22	9	69	24
1983/1982	34	52	14	71
1984/1983	28	38	34	44
1985/1984	28	36	36	44
1986/1985	16	26	58	21
1987/1986	42	25	33	56
1988/1987	33	26	41	45
1989/1988	17	21	63	21
1990/1989	21	25	54	28
1991/1990	31	23	46	40
1992/1991	0	0	100	0
1993/1992	31	28	41	43
1994/1993	0	0	100	0
1995/1994	22	44	33	40
1996/1995	6	6	88	7
1997/1996	40	36	24	63
1998/1997	0	0	100	0
1999/1998	47	27	27	64
2000/1999	4	0	96	4
2001/2000	26	52	23	53
2002/2001	38	0	63	38
2003/2002	0	4	96	0
2004/2003	18	29	54	25
2005/2004	41	29	29	58
Média	23	22	55	33

A taxa média de manutenção de 55% (Tabela 3) possibilitou uma boa estimativa da variação do ambiente entre os anos de avaliação, uma vez que o efeito ambiental é função do contraste entre os genótipos comuns aos anos considerados (Atroch e Nunes, 2000). Assim, quanto maior o número de tratamentos comuns a cada par de anos, melhor será a estimativa do efeito ambiental. Aliás, essa condição é muito relevante na metodologia proposta por Vencovsky et al. (1986) para estimar o ganho genético. Igualmente, leva a maior segurança na estimação dos progressos, pela conseqüente redução dos confundimentos provocados pelos erros experimentais e pelas interações de genótipos com anos.

O trabalho foi favorecido e pouco valor teria se apenas alguns genótipos comuns fossem utilizados para avaliar os efeitos de anos. Isto se deveu à forma de condução dos ensaios utilizados no presente trabalho, pois nos ensaios finais (VCU) da Comissão Centro Brasileira de Pesquisa de Trigo, todas as cultivares em recomendação, por serem poucas, são sempre incluídas como testemunhas, além de que as melhores linhagens testadas são sempre reavaliadas no ano seguinte, o que eleva a taxa de manutenção. Em geral, a taxa de manutenção de genótipos neste trabalho é considerada boa, pois, Soares et al. (1999) verificou taxa média de manutenção de 56% em arroz; entretanto, também em arroz, Atroch e Nunes (2000), verificaram taxa média de manutenção de apenas 38%. Mais recentemente em algodão, Moresco (2003) encontrou taxa média de manutenção da ordem de 44%, concluindo que esta possibilitou boa estimativa da variação ambiental entre os anos de avaliação.

Em relação ao objetivo principal do trabalho, pode-se dizer que ele é perfeitamente passível de críticas. De fato, o ideal seria se fossem instalados ensaios com sementes renovadas das principais cultivares lançadas nos vários períodos da

história do melhoramento do trigo irrigado em Minas Gerais. Essa alternativa, contudo, também tem seus inconvenientes, pois, iria requerer mais investimentos de recursos, além do fato de já não se ter mais disponibilidade de algumas cultivares que foram utilizadas no passado. No entanto, a metodologia de Vencovsky et al. (1986), segundo Arias (1996), reflete melhor as condições de campo, ou seja, anualmente é recomendado certo número de cultivares, mas somente uma parte dos agricultores, os mais inovadores, adota a nova tecnologia, pois uma parcela considerável decide continuar com os materiais utilizados nos anos anteriores.

Durante o processo de estimação do progresso genético e ambiental observaram-se que as diferenças totais, devido a ambiente e genética de um ano para outro, ao longo do período, foram de magnitude bastante variável (Figura 1). A variação nas diferenças totais está fortemente associada às diferenças dos efeitos ambientais que ocorreram entre os anos. Isso, provavelmente deve ter ocorrido na medida em que os efeitos de ambiente foram mais ou menos importantes na determinação da produção de grãos daquele mesmo par de anos. Segundo Carvalho et al. (1980), as condições climáticas (ambiente) são o principal fator determinante das variações da média de rendimento de grãos entre anos. De fato, o ano e/ou ambiente são importantes nas estimativas dos progressos genéticos. Em trabalho realizado para o período de 1979 a 1984, Feyerherm et al. (1989) estimaram aumentos na produtividade do trigo de $8,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, em Montana, e de $17,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em Dakota, nos Estados Unidos, evidenciando o efeito do ambiente na estimativa dos progressos.

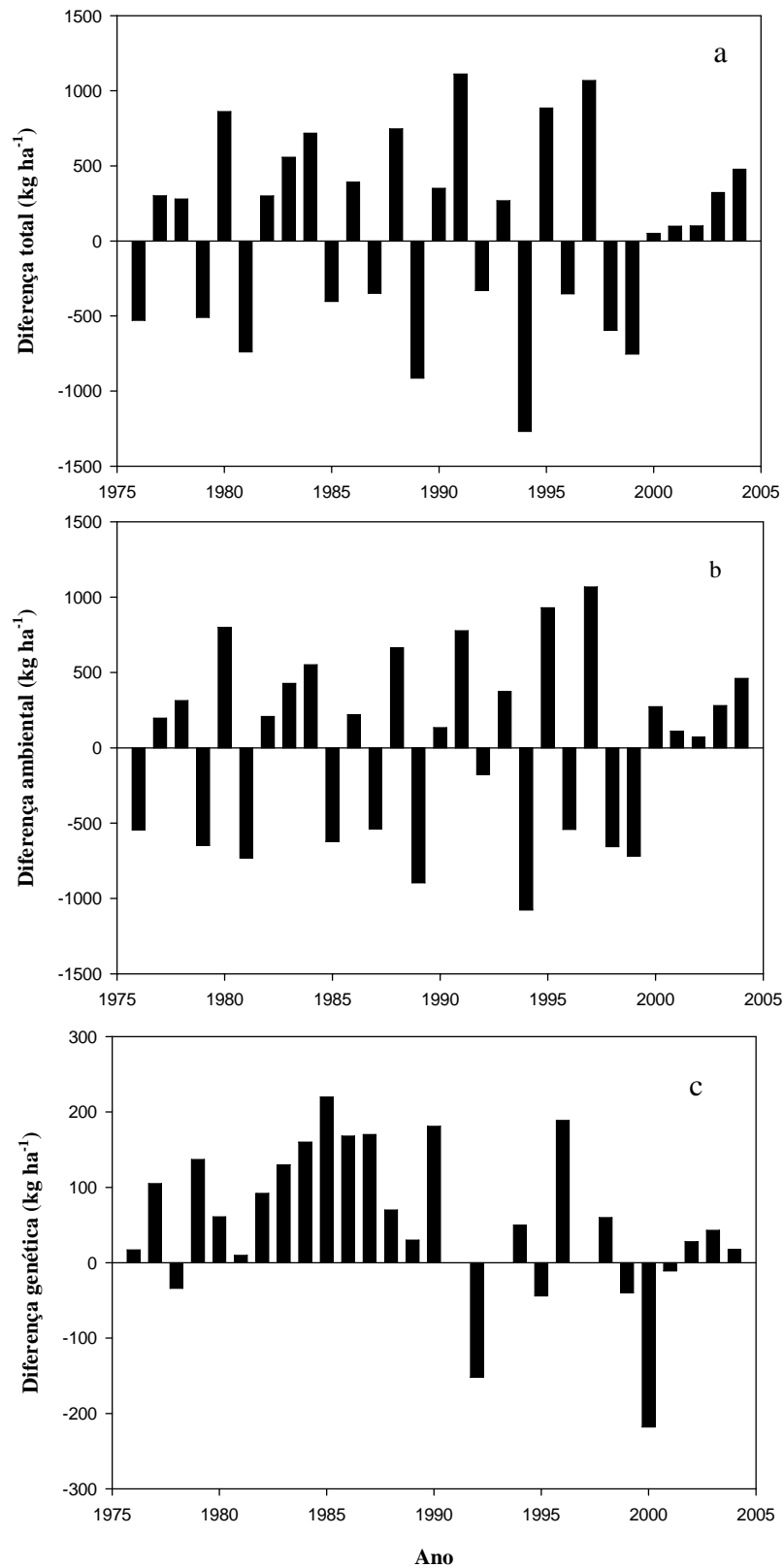


Figura 1 - Diferenças totais (a), ambientais (b) e genéticas (c) nos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) de trigo irrigado em cada par de anos, no período de 1976 a 2005, no Estado de Minas Gerais.

As diferenças genéticas anuais também foram de magnitude bastante variável, oscilando de -218 kg ha^{-1} a 220 kg ha^{-1} (Figura 1). Entretanto, as diferenças na produtividade média devido ao efeito genético (ganho genético) foram positivas em praticamente todos os anos, demonstrando haver progresso genético ao longo dos anos, com o lançamento de novas cultivares para Minas Gerais pelos programas de melhoramento de trigo. De fato, a diferença ou avanço genético anual é obtido pela diferença entre a produtividade média dos genótipos de um ano e a do ano imediatamente anterior, excluindo-se o efeito do ano (Vencovsky et al., 1986).

O progresso total, ou seja, o ganho genético e ambiental obtido pelo melhoramento de trigo irrigado no Estado de Minas Gerais no período de 1976 a 2005 estimado pela metodologia de Vencovsky et al. (1986), foi de 2.142 kg ha^{-1} (Tabela 4).

Tabela 4 - Balanço do ganho genético e ambiental obtido pelo melhoramento de trigo irrigado no Estado de Minas Gerais, no período de 1976 a 2005.

Ganho	(kg ha⁻¹)¹	(%)²	(kg ha⁻¹)³
Genético	1.441	67,2	48,03
Ambiental	701	32,8	23,4
Total	2.142	100	71,43

¹ Progresso em todo o período avaliado (1976 a 2005);

² Proporção do progresso genético e ambiental;

³ Progresso anual médio.

O ganho genético no período foi de 1.441 kg ha^{-1} , o que corresponde a 67,2% do progresso total estimado. Este ganho representa incremento atribuível ao melhoramento genético de $48,03 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, o que significa dizer ainda que, segundo a metodologia utilizada, houve aumento na produtividade média de grãos na ordem de 1,84% ao ano, em relação à produtividade média de referência do período, ou seja, aquela obtida em 1976. A estimativa do progresso genético médio anual de

48,03 kg ha⁻¹ ano⁻¹, foi significativa ($p < 0,01$) pelo teste t, sendo por esta razão considerada eficiente. Ressalta-se ainda que, somente os progressos genéticos acumulados em kg ha⁻¹ já são semelhantes à produtividade média das lavouras de trigo no Brasil, a qual é de aproximadamente 2.000 kg ha⁻¹ (IBGE, 2006).

O progresso obtido pelo melhoramento genético na cultura do trigo no Sul do Brasil, foi mais recentemente verificado por Nedel (1994). Este autor examinou o progresso em 15 cultivares de trigo lançadas para cultivo no período de 1940 a 1992 e observou incremento de 17,3 kg ha⁻¹ ano⁻¹, no rendimento de grãos. Nos Estados Unidos, Cox et al. (1988) relataram aumento de 16,2 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Deste modo, pode-se concluir que os programas de melhoramento de trigo irrigado desenvolvidos pelas instituições de pesquisa no Estado de Minas Gerais foram eficientes.

Pelos resultados do progresso genético estimado neste trabalho, pode-se notar que estes foram consideráveis e semelhantes aos estimados por outros autores em diversas culturas anuais. Para efeito de comparação, o melhoramento de soja resultou em ganhos anuais de 1,3% a 1,8%, no Paraná, no período de 1981 a 1986 (Toledo et al., 1990). O sorgo aumentou a produtividade, em média, 1,5% ao ano, no período de 1974 a 1988 (Rodrigues, 1990). Na cultura do arroz, Abbud (1991) estimou ganho de 1,3% ao ano, no período de 1975 a 1988, no Paraná; Soares et al. (1999), estimou o progresso em 0,84% a 1,6% ao ano, em Minas Gerais; e Breseghello et al. (1999), no período de 1984 a 1993, no nordeste brasileiro, estimou o ganho genético para esta cultura em 0,77% ao ano. Carvalho et al. (1997), avaliando o progresso genético em algodão herbáceo no nordeste brasileiro, obtiveram ganho de 1,03% ao ano para o rendimento de algodão em caroço. No Mato Grosso, Moresco (2003) estimou o progresso genético do algodão em caroço em 3,7% a 5,2% ao ano.

Da mesma forma, houve ganho ambiental e tecnológico de 701 kg ha⁻¹ no período estimado, representando 32,8% do progresso total obtido (Tabela 4). Este ganho devido à melhoria do ambiente representa acréscimo de 23,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na produtividade média de grãos. De fato, já era de se esperar aumento na produtividade devido à melhoria ambiental, uma vez que a maior parte da área cultivada com trigo irrigado no Estado de Minas Gerais é realizada em áreas de solos de cerrado, que foram melhorados com fertilizações sucessivas. Há de se considerar que a adoção de outras tecnologias, como manejo mais efetivo da irrigação e maior eficiência no controle de doenças, também exerceram importante papel no desempenho das cultivares. Da mesma forma, estas tecnologias também foram utilizadas nas áreas experimentais, refletindo-se nos resultados encontrados.

O progresso genético acumulado ao longo dos 30 anos de melhoramento do trigo irrigado em Minas Gerais apresentou três fases (Figura 2).

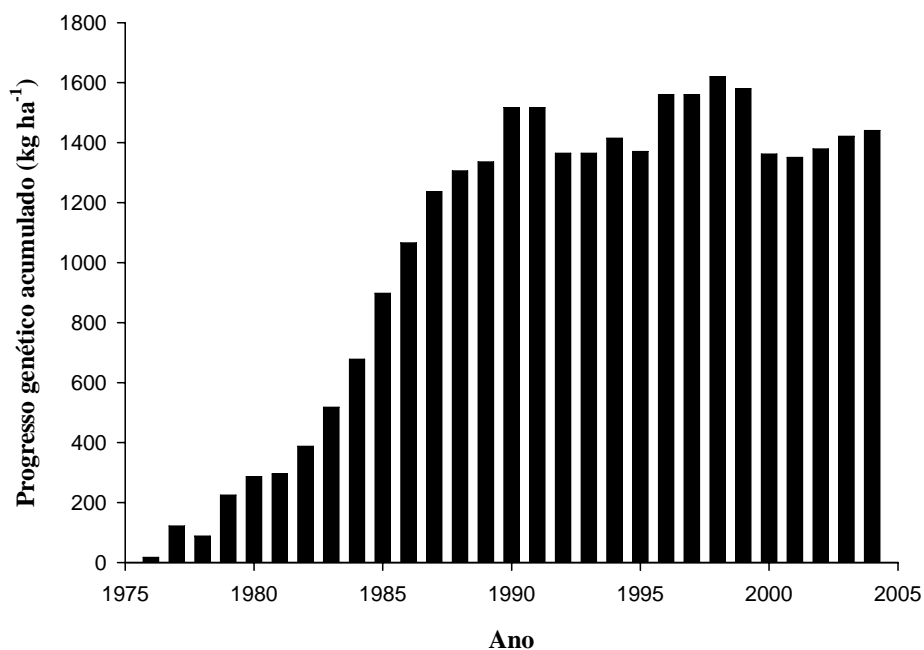


Figura 2 - Ganho genético acumulado ao longo dos 30 anos (1976 a 2005) de melhoramento do trigo irrigado no Estado de Minas Gerais.

A primeira fase caracterizou-se por apresentar ganho genético de baixa magnitude. Nesta fase, os trabalhos de melhoramento consistiam em introduzir e testar cultivares de várias instituições nacionais e internacionais. Possivelmente estas cultivares por serem de outras regiões não apresentavam boa adaptação ao clima da região. Na segunda fase, do início da década de 1980 a 1993, caracterizada por crescentes ganhos e progresso expressivo na produtividade de grãos, foi desenvolvido um programa de seleção em populações segregantes. A partir de 1993 iniciaram as hibridações e introduções de linhagens do CIMMYT (Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo), localizado no México (Comunicação pessoal)¹. Nesta fase, houve tendência de redução dos acúmulos do progresso genético. Este fato se deve, principalmente, às mudanças nas ações do programa de melhoramento que ocorreram no estado, visando outras características importantes na seleção de cultivares, como a qualidade da farinha para panificação, a qual se tornou uma importante exigência do mercado a partir de 1990.

Dessa forma, nos programas de melhoramento em avaliação, as cultivares obtidas contribuíram para a melhoria da produtividade de grãos, representando 67,2% do progresso total; igualmente, as alterações ambientais foram expressivas para este acréscimo, representando 32,8% da melhoria obtida no período avaliado. No Brasil, Moreira et al. (1982) estimaram aumento na produtividade do trigo, devido a genótipos (ganho genético) em 22% do progresso total e Silvey (1981), na Inglaterra, em 40%. Porém, vale ressaltar que nenhum trabalho estimou o progresso genético e ambiental nesta região, por um período semelhante a este por esta metodologia.

¹ Consulta ao Prof^o Orientador Moacil Alves de Souza, o qual participou do programa de melhoramento do trigo em Minas Gerais, ao longo do período de 1976 a 2005, primeiramente pela EPAMIG e a partir de 1993 pela UFV.

Assim, estes resultados evidenciam que os esforços empreendidos na busca de cultivares produtivas e adaptadas têm produzido resultados expressivos pelos programas de melhoramento de trigo irrigado conduzidos pelas instituições estaduais e federais de pesquisa agropecuária na seleção, introdução, avaliação e recomendação de novas cultivares de trigo irrigado para o Estado de Minas Gerais.

Conclusões

1. O ganho genético médio anual, em produtividade, obtido no período de 1976 a 2005 foi de $48 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ou 1,84% ao ano.

2. As melhorias ambientais foram importantes para o acréscimo na produtividade no período de 1976 a 2005 representando 32,8% do progresso total obtido.

3. Os programas de melhoramento de trigo irrigado promovem 33% de renovação de genótipos ao longo dos anos.

Referências

- ABBUD, N.S. **Melhoramento genético do arroz (*Oryza sativa* L.) no Estado do Paraná de 1975 a 1989**. 1991. 141p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Piracicaba.
- ARIAS, E.R.A. **Adaptabilidade e estabilidade das culturas de milho avaliadas no Estado do Mato Grosso do Sul e avanço genético obtido no período de 1986/87 a 1993/94**. 1996. 118p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- ATROCH, A.L.; NUNES, G.H.S. Progresso genético em arroz de várzea úmida no Estado do Amapá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.767-771, 2000.
- BRESEGHELLO, F.; NAKANO, P.H.R.; MORAIS, O.P. Ganho de produtividade pelo melhoramento genético do arroz irrigado no Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.399-407, 1999.
- CARGNIN, A.; SOUZA, M.A.; CARNEIRO, P.C.S.; SOFIATTI, V. Interação entre genótipos e ambientes e implicações em ganhos com seleção em trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.987-993, 2006.
- CARVALHO, L.P.; BARBOSA, M.H.P.; COSTA, J.N.; FARIAS, F.J.C.; SANTANA, J.C.F.; ANDRADE, F.P. Progresso genético do algodoeiro herbáceo no Nordeste. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, p.283-291, 1997.
- CARVALHO, F.I.F.; FEDERIZZI, L.C.; NODARI, R.C.; SCHEEREN, P.; SERENO, M.J. Trigo, triticale, aveia e cevada da depressão Central do RS. **Lavoura Arrozeira**, v.33, p.34-39, 1980.
- COMISSÃO CENTRO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 13., 2004, Goiânia. **Indicações técnicas para a cultura de trigo na região do Brasil Central: safras 2005 e 2006**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2005. 85p.
- COX, T.S.; SHOYER, J.P.; BEN-HUI, L.; SEARS, R.G.; MARTIN, T.J. Genetic improvement in agronomic traits of hard red winter wheat cultivars from 1919 to 1987. **Crop Science**, v.28, p.756-760, 1988.
- CRUZ, C.D. **Programa Genes: Versão Windows - Biometria**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 381p.
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético II**. Viçosa: UFV, 2003. 585p.
- EMBRAPA TRIGO. Trigo do Cerrado alcança novo recorde nacional de produtividade. **Viatrigo: Informativo do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo**, v.1, 2004. Disponível em:
<<http://www.cnpt.embrapa.br/informativo/viatrigo/viatrigo9.htm#notsemana>>. Acesso em: 26 set. 2005.

- FEYERHERM, A.M.; KEMP, K.E.; PAULSEN, G.M. Genetic contribution to increased wheat yields in the USA between 1979 and 1984. **Agronomy Journal**, v.81, p.242-245, 1989.
- FRONZA, V. Contribuição do melhoramento genético no agronegócio trigo para o Brasil. **SBMP Notícias**, n.5, p.1-2, 2005.
- GREIDER, A. A cultura do trigo em Minas. **Boletim de Agricultura, Zootecnia e Veterinária**, v.2, p.18-45, 1929.
- IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. **Indicadores Agropecuários: Produção Agrícola**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2006.
- MELLADO, M.Z. Mejoramiento de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) en la zona Centro sur de Chile, análisis del rendimiento y variables asociadas en trigos de primavera. **Agricultura Técnica**, v.60, p.32-42, 2000.
- MOREIRA, J.C.; SOUZA, C.N.A.; MEDEIROS M.C. Avaliação do progresso na criação de cultivares de trigo. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE TRIGO, 12., Cascavel. **Anais...**, Passo Fundo: Embrapa CNPT, 1982. p.109-121.
- MORESCO, E.R. **Progresso genético no melhoramento do algodoeiro no Estado de Mato Grosso**. 2003. 79p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Piracicaba.
- NEDEL, J.L. Progresso genético no rendimento de grãos de cultivares de trigo lançadas para cultivo entre 1940 e 1992. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, p.1565-1570, 1994.
- RODRIGUES, J.A.S. **Progresso genético e potencial de risco da cultura do sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) no Brasil**. 1990. 171p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Piracicaba.
- SILVEY, V. The contribution of new wheat, barley and oat cultivars to increasing yield in England and Wales. **Journal of the Natural Institute Agriculture Botany**, v.15, p.399-412, 1981.
- SOARES, A.A.; SANTOS, P.G.; MORAIS, O.P.; SOARES, P.C.; REIS, M.S.; SOUZA, M.A. Progresso genético obtido pelo melhoramento de arroz de sequeiro em 21 anos de pesquisa em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.415-24, 1999.
- SOUZA, M.A. **Controle genético e resposta ao estresse de calor de cultivares de trigo**. 1999. 152p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- SOUZA, M.A.; RAMALHO, M.A.P. Controle genético e tolerância ao estresse de calor em populações híbridas e em cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1245-1253, 2001.

TOLEDO, J.F.F.; ALMEIDA, L.A.; KIIHL, R.A.S.; MENOSSO, O. G. Ganho genético em soja no Estado do Paraná via melhoramento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, p.89-94, 1990.

VENCOVSKY, R.; MORAES, A.R.; GARCIA, J.C.; TEIXEIRA, N.M. Progresso genético em vinte anos de melhoramento do milho no Brasil. In: CONGRESSO DE MILHO E SORGO, 9., 1986, Belo Horizonte. **Anais...**, Sete Lagoas: Embrapa CNPMS, 1986. p.300-307.

CAPÍTULO II

Progresso genético em 30 anos de melhoramento do trigo de sequeiro em Minas Gerais

Resumo – Realizou-se este trabalho com o objetivo de quantificar o progresso genético obtido pelos programas de melhoramento do trigo de sequeiro no Estado de Minas Gerais no período de 1976 a 2005. A eficiência dos programas de melhoramento de trigo de sequeiro foi estudada, utilizando-se os dados de produtividade de grãos obtidos nos ensaios de valor de cultivo e uso, conduzidos em parceria, por instituições federais e estaduais de pesquisa agropecuária, abrangendo nove locais de Minas Gerais. Para a estimativa do progresso genético e ambiental foi utilizada a metodologia de Vencovsky e colaboradores. O progresso genético médio anual estimado no período de 1976 a 2005 foi de $37 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na produtividade média de grãos. O ganho genético, em produtividade, obtido no período estudado, indica que os programas de melhoramento de trigo de sequeiro em Minas Gerais são eficientes. Apesar do ganho genético ter contribuído expressivamente, as melhorias ambientais e tecnológicas foram importantes para o acréscimo na produtividade, representando 47,4% do progresso total obtido. Os programas de melhoramento de trigo de sequeiro promovem 35% de renovação de genótipos ao longo dos anos.

Termos para indexação: *Triticum aestivum* L., avaliação de genótipos, melhoramento, ganho genético.

Genetic progress in 30 years of improvement of upland wheat in Minas Gerais State

Abstract – This study focused on the quantification of the genetic progress achieved by improvement programs of upland wheat in the state of Minas Gerais between 1976 and 2005. The efficiency of these programs was analyzed based on grain yield data from VCU trials (Value for Cultivation and Use). The trials were conducted together with federal and state agricultural research institutions at nine locations in Minas Gerais, from 1976 to 2005. A methodology of Vencovsky was used to estimate the genetic and environmental progress. The mean estimated genetic progress for mean grain yield between 1976 and 2005 was 37 kg ha⁻¹ year⁻¹. The genetic yield gain in the study period indicates that the improvement programs of upland wheat in Minas Gerais are effective. Although the contribution of the genetic gain was expressive, the environmental and technological improvements were also important for the yield increase, accounting for 47.4% of the total progress in the period. The improvement programs of upland wheat resulted in a genotype renovation of 35% over the years.

Index terms: *Triticum aestivum* L., genotype evaluation, improvement, genetic gain.

Introdução

Desde a década de 1970, a cultura do trigo tem-se expandido para o Centro-Oeste brasileiro, sendo cultivada em solos anteriormente cobertos com vegetação de cerrado, e tem-se mostrado bastante promissora (Souza, 1999; Souza e Ramalho, 2001; Cargnin et al., 2006). No entanto, os primeiros trabalhos de pesquisa iniciados na região de Araxá, em 1928, já demonstravam o potencial do trigo em

Minas Gerais (Grieder, 1929). Este autor afirmou que as produtividades obtidas em seus trabalhos asseguravam o potencial desta cultura para a região, visto que a produtividade superava a média de países produtores de trigo, como o Canadá, Estados Unidos e Argentina. Entretanto, salientou que, para atender o consumo interno, não seria possível somente pela expansão da área cultivada, e sim, seria necessário aumentar a produtividade, sendo neste caso indispensável trabalhos de melhoramento genético.

No caso do trigo de sequeiro, a semeadura é realizada de 15 de janeiro até o final de fevereiro, estendendo-se até 10 de março para a região do Alto Paranaíba ou até 25 de março para a região do Projeto de Assentamento Dirigido do Alto Paranaíba - PADAP, em Minas Gerais, cuja altitude média é superior a 1.000 m. Porém, são aptas ao plantio nesta época, todas aquelas áreas com altitude maior do que 800 m (Comissão..., 2005), quando ainda há precipitações pluviais, o que contribui com a redução do custo de produção da lavoura em comparação com o trigo irrigado.

Embora a área ocupada pelo trigo de sequeiro seja pouco expressiva, este tipo de cultivo constitui uma alternativa em sucessão à soja precoce, ajudando a complementar a renda do produtor, além de aumentar a eficiência de uso da terra e diminuir a ociosidade das máquinas, entre outras vantagens. Descontando áreas marginais e aquelas ocupadas por outras culturas em “safrinha”, estima-se que haveria, pelo menos, 10.000 ha que poderiam ser ocupados pelo trigo de sequeiro, somente na região do PADAP (Souza, 1983). Além disso, com o crescente aumento do número de propriedades infestadas pelo nematóide de cisto da soja (*Heterodera glycines*) e a necessidade de desenvolver novos sistemas de produção para conviver com este novo problema, que ameaça a sojicultura nacional, o trigo de sequeiro

também se constitui em boa opção para rotação naquelas áreas com maior altitude e que não forem ocupadas pela soja.

Pela necessidade de se ter à disposição dos produtores, cultivares de trigo adaptadas às condições climáticas predominantes durante o final da época das chuvas, desde 1976 a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) vem desenvolvendo um programa de melhoramento genético com a cultura. Por essa razão, as estimativas dos progressos genéticos alcançados pelos programas de melhoramento são instrumentos hábeis para se quantificar a eficiência dos trabalhos executados. Além do mais, o conhecimento da eficiência do programa de melhoramento é importante para avaliar a estratégia e economizar recursos.

Avaliando o ganho genético de novas cultivares de trigo no Sul do Brasil, Nedel (1994) encontrou que a produtividade de grãos das cultivares novas foi substancialmente maior do que as das cultivares mais antigas, pois foram obtidos incrementos de $17,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, no período de 1940 a 1992. Porém, ele utilizou uma amostra de apenas 15 cultivares para representar os 52 anos de melhoramento e ainda estimou o progresso pelo método direto. Por outro lado, Mellado (2000) avaliando as cultivares obtidas em diferentes períodos pelo Programa de Melhoramento Genético do Trigo desenvolvido no Chile, não constatou ganhos genéticos para a produtividade de grãos. Segundo esse autor, a substituição das cultivares em geral foi devida, principalmente, à melhor sanidade das novas cultivares quando lançadas ao mercado.

Algumas metodologias foram desenvolvidas com o intuito de quantificar o progresso genético obtido com o melhoramento. Uma das alternativas é realizar experimentos com amostras de cultivares utilizadas nos períodos a serem comparados. Nesse caso, as cultivares mais antigas são comparadas com as mais

recentes. Contudo, o custo com tais experimentos é alto, além dos problemas de ressintetização das sementes das cultivares mais antigas e do fato de que nem todas as cultivares desenvolvidas em determinado período podem estar disponíveis ao melhorista (Moresco, 2003). Segundo esse autor, a metodologia de Vencovsky et al. (1986), reflete melhor a realidade de adoção pelos agricultores das cultivares lançadas.

Assim sendo, é necessário à procura de métodos alternativos de acompanhamento do progresso genético. O ideal é que os métodos utilizem as informações já disponíveis no decorrer dos ensaios (Atroch e Nunes, 2000). Dessa forma, Vencovsky et al. (1986) sugeriram uma alternativa que utiliza os dados dos ensaios de avaliação de cultivares conduzidos pelas instituições de pesquisa. Este método vem sendo utilizado em vários trabalhos que estimam a contribuição do melhoramento genético aplicado em condições brasileiras para várias culturas (Moresco, 2003).

Dessa forma, objetivou-se com este trabalho quantificar o progresso genético obtido pelos programas de melhoramento do trigo de sequeiro no Estado de Minas Gerais no período de 1976 a 2005.

Material e Métodos

Foram utilizados os dados de produção de grãos obtidos de ensaios de valor de cultivo e uso (VCU), de trigo de sequeiro realizados no Estado de Minas Gerais, conduzidos sob a coordenação da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) em parceria com outras instituições, no período de 1976 a 2005. Nos ensaios, anualmente, um grupo de genótipos (cultivares e/ou linhagens) que não têm bom desempenho foram descartados e substituídos por outros. Por outro lado,

anualmente, um grupo de genótipos que apresentaram bom desempenho, foi mantido para a avaliação no ano posterior, sendo assim, comuns a dois ou mais anos de avaliação dependendo de seu desempenho anual.

O número de ensaios por ano agrícola variou de um a quatro, totalizando 53 ensaios, os quais foram conduzidos em delineamento de blocos ao acaso, com três ou quatro repetições. Os dados utilizados são as médias de produtividade de grãos das cultivares e/ou linhagens em cada ano. Assim, as médias são repetidas k vezes em relação a cada genótipo, em função do número de ensaios e do número de repetições. Os experimentos nos anos de 1989 e 1999 foram perdidos devido a forte estiagem ocorrida. Os ensaios foram conduzidos em nove locais do Estado de Minas Gerais (Tabela 1).

Tabela 1 – Referências geodésicas dos locais dos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) de trigo sequeiro, conduzidos no Estado de Minas Gerais, durante o período de 1976 a 2005 e normais climatológicas da estação meteorológica mais próxima.

Local	Alt. (m)	Lat. (°S)	Long. (°W)	TMe. (°C)	TMáx. (°C)	TMin. (°C)	Precip. (mm)
Capinópolis	620	18,6	49,5	21,1	27,9	16,5	738,0
Coromandel	1.150	18,6	46,9	21,1	27,9	16,5	738,0
Iraí de Minas	1.000	18,9	47,4	20,6	26,3	16,0	812,5
Presidente Olegário	957	18,4	46,4	22,5	29,0	16,6	719,0
Paracatu	710	17,2	46,8	22,6	29,1	17,5	691,6
Patos de Minas	830	18,5	46,4	21,1	27,9	16,5	738,0
Perdizes	1.080	19,4	47,3	20,6	26,4	16,0	812,2
Rio Paranaíba	1.130	19,1	46,1	20,6	26,4	16,0	812,2
Uberaba	980	19,5	47,9	21,8	26,4	16,8	847,5

Alt. – altitude média; Lat. – latitude; Long. – longitude; TMe – média da temperatura média; TMáx – média da temperatura máxima; TMin – média da temperatura mínima e Precip. – precipitação total.

OBS: as médias de temperatura e precipitação total foram obtidas das médias históricas entre os meses de Janeiro a Junho de 1961 a 1990. Estes meses correspondem ao período de cultivo do trigo de sequeiro em Minas Gerais.

As sementeiras foram realizadas dentro do período recomendado, que vai de 15 de janeiro até o final de fevereiro, estendendo-se até 10 de março para a região do

Alto Paranaíba ou até 25 de março para São Gotardo e Rio Paranaíba. Os experimentos utilizados não receberam aplicações de fungicidas, com exceção dos ensaios conduzidos em São Gotardo a partir do ano de 2000. Os demais tratamentos culturais foram todos realizados conforme as indicações técnicas para a cultura do trigo indicadas pela Comissão Norte ou Centro Brasileira de Pesquisa de Trigo e vigentes no período de condução dos ensaios. Vale ressaltar ainda que a partir do ano de 2001, em Rio Paranaíba, os ensaios foram conduzidos em área de pivô central, com irrigação complementar no início do ciclo (não mais que três irrigações).

Para o cálculo do progresso genético foi utilizada a metodologia de Vencovsky et al. (1986). Esta metodologia permite o cálculo da estimativa do progresso médio a partir de informações de conjuntos de genótipos avaliados num determinado período de tempo. Considera-se que, a cada ano, novos genótipos são produzidos pelos programas de melhoramento e incluídos em ensaios de competição juntamente com outros, que se mantêm pela sua capacidade produtiva, adaptabilidade. Também ocorre a exclusão de genótipos, que, por algum motivo, vão sendo gradativamente superados.

A diferença entre a produtividade média dos genótipos comuns, a cada par de anos, é utilizada para estimar o efeito do ano. O avanço genético anual é obtido pela diferença entre a produtividade média dos genótipos de um ano e a do ano imediatamente anterior, excluindo-se o efeito do ano. Assim, o ganho genético considerando-se dois anos consecutivos 1 e 2, é estimado pela diferença genética, de acordo com a expressão: $dg_{21} = dt_{21} - da_{21}$, sendo: $dt_{21} = (\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1)$, a diferença total entre a média de todos os tratamentos do ano 2 e a de todos os tratamentos no ano 1, onde \bar{Y}_2 e \bar{Y}_1 são as médias de todos os tratamentos nos anos 2 e 1, respectivamente; $da_{21} = (\bar{Y}_{(2)2} - \bar{Y}_{(2)1})$, a diferença ambiental obtida entre a média do grupo de

genótipos comuns ao par de anos 2 e 1, em que $\bar{Y}_{(2)2}$ e $\bar{Y}_{(2)1}$ são as médias dos genótipos comuns aos dois anos, obtidas nos anos 2 e 1, respectivamente.

Deste modo, são obtidas as estimativas do acréscimo na variável em consequência da melhoria dos genótipos disponível e das condições ambientais. Tendo-se “a” anos obtém-se “a-1” diferenças genéticas e ambientais entre cada par de anos sucessivos. A soma de todos os valores dg e da representa os acréscimos na produtividade de grãos, do início ao fim do período, devido ao melhoramento genético e ambiental ao longo dos anos estudados. Para se obter o acréscimo médio por ano, divide-se o progresso acumulado pelo número de anos no período. Esta última estimativa dividida pela média geral dos experimentos do primeiro ano (média de referência), multiplicada por 100, fornece o ganho genético médio anual em porcentagem (Vencovsky et al., 1986). A significância da estimativa do ganho genético médio anual foi verificada pelo teste t; $t = \frac{\hat{g} - 0}{\hat{s}(\hat{g})}$ com $n - 2$ graus de

liberdade; sendo $\hat{s}(\hat{g}) = \sqrt{\frac{1}{n} \left(\frac{\sum (\hat{g} - \bar{\hat{g}})^2}{n-1} \right)}$, conforme Moresco (2003).

Foram estimadas também as taxas de genótipos incluídos (%I), excluídos (%E), mantidos (%M) e renovados (%R) de um ano para outro, conforme as seguintes equações em valores percentuais: $\%I = \frac{100I}{M + E + I}$; $\%E = \frac{100E}{M + E + I}$; $\%M = \frac{100M}{M + E + I}$ e $\%R = \frac{100I}{M + I}$, sendo: I: número de genótipos incluídos no ano subsequente; E: número de genótipos excluídos no ano anterior; M: número de genótipos mantidos de um ano para outro.

Todas as análises foram realizadas com o auxílio do programa GENES – Aplicativo computacional em genética e estatística desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa (Cruz, 2006).

Resultados e Discussão

Na Tabela 2 estão relacionados o número de ensaios, número de genótipos e as médias de produção de grãos em cada ano, nos ensaios de valor de cultivo e uso no período de 1976 a 2005. O número de ensaios por ano agrícola variou de um a quatro, totalizando 53 ensaios. Número bastante semelhante quando comparado com outros trabalhos de progresso genético em outras culturas como arroz (Breseghello et al., 1999), mas não compreendendo um período de anos tão expressivo como no presente trabalho. O número de genótipos avaliados em cada ano variou de 12 a 30, totalizando 184 genótipos avaliados no período.

Observa-se ainda na Tabela 2, que houve aumento na produtividade média das cultivares ao longo do período de 1976 a 2005. Na década de 1970, a produtividade média não atingia 1.000 kg ha^{-1} , atualmente este valor supera a barreira dos 2.000 kg ha^{-1} em média.

A taxa de substituição genotípica quantifica o dinamismo do programa de melhoramento, fornecendo a taxa de genótipos incluídos, excluídos, mantidos e renovados de um ano para o outro (Cruz e Carneiro, 2003). Verifica-se na Tabela 3, que os programas de melhoramento de trigo de sequeiro estão promovendo boa taxa de renovação de genótipos ao longo de todo o período avaliado, com taxa média de 35%, demonstrando o dinamismo dos programas de melhoramento.

Tabela 2 - Número de ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) utilizados, número de genótipos avaliados e produtividade média anual de trigo de sequeiro, no período de 1976 a 2005, no Estado de Minas Gerais.

Ano	Número de ensaios	Número de genótipos	Produtividade (kg ha⁻¹)
1976	2	15	552
1977	1	25	911
1978	3	18	526
1979	2	20	850
1980	1	21	1.573
1981	2	25	1.005
1982	2	29	1.213
1983	3	14	1.233
1984	4	15	1.598
1985	4	16	1.973
1986	2	14	1.951
1987	1	17	1.808
1988	2	16	1.811
1989	-	-	-
1990	1	15	2.900
1991	1	15	2.555
1992	1	15	2.624
1993	1	14	3.181
1994	1	14	2.133
1995	1	12	2.621
1996	1	12	1.521
1997	1	16	3.600
1998	1	17	2.270
1999	-	-	-
2000	1	12	1.962
2001	2	16	2.108
2002	3	12	2.338
2003	3	19	2.561
2004	3	17	1.946
2005	3	30	2.522
Período	53	184	1.923

Tabela 3 - Taxas de substituição de genótipos (%), nos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) de trigo de sequeiro em cada par de anos, no período de 1976 a 2005, no Estado de Minas Gerais.

Par de Anos	Inclusão	Exclusão	Manutenção	Renovação
1977/1976	42	4	54	44
1978/1977	17	40	43	28
1979/1978	33	26	41	45
1980/1979	20	16	64	24
1981/1980	19	4	77	20
1982/1981	22	9	69	24
1983/1982	26	64	10	71
1984/1983	36	32	32	53
1985/1984	32	27	41	44
1986/1985	20	30	50	29
1987/1986	22	6	72	24
1988/1987	35	38	27	56
1990/1988	20	25	55	27
1991/1990	25	25	50	33
1992/1991	0	0	100	0
1993/1992	29	33	38	43
1994/1993	0	0	100	0
1995/1994	7	20	73	8
1996/1995	0	0	100	0
1997/1996	52	36	12	81
1998/1997	6	0	94	6
2000/1998	15	40	45	25
2001/2000	43	24	33	56
2002/2001	24	43	33	42
2003/2002	50	21	29	63
2004/2003	24	32	44	35
2005/2004	56	23	21	73
Média	25	23	52	35

Em arroz, Soares et al. (1999) e Atroch e Nunes (2000) encontraram taxas de renovação de 44% e 46% respectivamente, e relatam que esses valores evidenciam alta vitalidade dos programas de melhoramento desta cultura. Verifica-se também, que a taxa de inclusão é maior que a taxa de exclusão, dando assim indicativo da contribuição dos programas de melhoramento em termos de liberar cultivares, fornecendo novas opções de cultivo para o agricultor.

Por outro lado, a avaliação dos genótipos mantidos de um ano para o outro possibilita a estimativa da variação do ambiente entre os anos de avaliação. O efeito

ambiental é função do contraste entre os genótipos comuns aos anos considerados (Atroch e Nunes, 2000). Assim sendo, quanto maior o número de tratamentos comuns a cada par de anos, melhor será a estimativa do efeito ambiental. Desta forma, a taxa média de manutenção de 52% permitiu boa estimativa da variação do ambiente. Aliás, essa condição é muito relevante na metodologia proposta por Vencovsky et al. (1986) para estimar o ganho genético. Igualmente, leva a maior segurança na estimação dos progressos, pela conseqüente redução dos confundimentos provocados pelos erros experimentais e pelas interações de genótipos com anos.

O presente trabalho foi favorecido e pouco valor teria se apenas alguns genótipos comuns tivessem sido utilizados para avaliar os efeitos de anos (ambiente). Isto se deveu à forma de condução dos ensaios, uma vez que a estratégia utilizada pela Comissão Centro Brasileira de Pesquisa de Trigo, é de incluir todas as cultivares em recomendação como testemunhas, além de que as melhores linhagens testadas são sempre reavaliadas no ano seguinte, o que eleva a taxa de manutenção. Em geral, a taxa de manutenção de genótipos de 52% neste trabalho é considerada boa. Soares et al. (1999) verificou taxa média de manutenção de 56% em arroz, porém, também em arroz, Atroch e Nunes (2000) verificaram taxa de manutenção de apenas 38%. Mais recentemente em algodão, Moresco (2003) encontrou taxa média de manutenção da ordem de 44%, concluindo que esta possibilitou boa estimativa da variação ambiental entre os anos de avaliação.

Em relação ao objetivo principal estabelecido para este trabalho, pode-se dizer que ele é perfeitamente passível de críticas. De fato, o ideal seria se fosse instalado um ensaio com sementes renovadas das principais cultivares lançadas nos vários períodos da história do melhoramento do trigo de sequeiro em Minas Gerais.

Essa alternativa, contudo, também tem seus inconvenientes, pois, requereria mais investimentos de recursos, além do fato de já não se ter mais disponibilidade de algumas cultivares que foram utilizadas no passado. Contudo, segundo Arias (1996), a metodologia de Vencovsky et al. (1986), reflete melhor as condições de campo, ou seja, anualmente é recomendado certo número de cultivares, porém, somente uma parte dos agricultores, os mais inovadores, adota os novos. Uma parcela considerável decide continuar com as cultivares utilizadas nos anos anteriores.

Durante o processo de estimação dos progressos genético e ambiental, observaram-se variações nas diferenças totais, ambientais e genéticas de um ano para outro, ao longo do período de 1976 a 2005 (Figura 1). A variação nas diferenças totais está fortemente associada às diferenças dos efeitos ambientais que ocorreram entre os anos. Isso provavelmente deve ter ocorrido na medida em que os efeitos de ambiente foram mais ou menos importantes na determinação da produção de grãos daquele mesmo par de anos, como por exemplo, a ocorrência de maior déficit hídrico (menor ocorrência de chuvas) em alguns anos. Segundo Carvalho et al. (1980), as condições climáticas (ambiente) são o principal fator determinante das variações da média de rendimento de grãos entre anos. De fato, o ano e/ou ambiente são importantes nas estimativas dos progressos genéticos. Em trabalho realizado para o período de 1979 a 1984, Feyerherm et al. (1989) estimaram aumentos na produtividade do trigo de $8,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, em Montana, e de $17,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em Dakota nos Estados Unidos, evidenciando o efeito do ambiente na estimativa dos progressos.

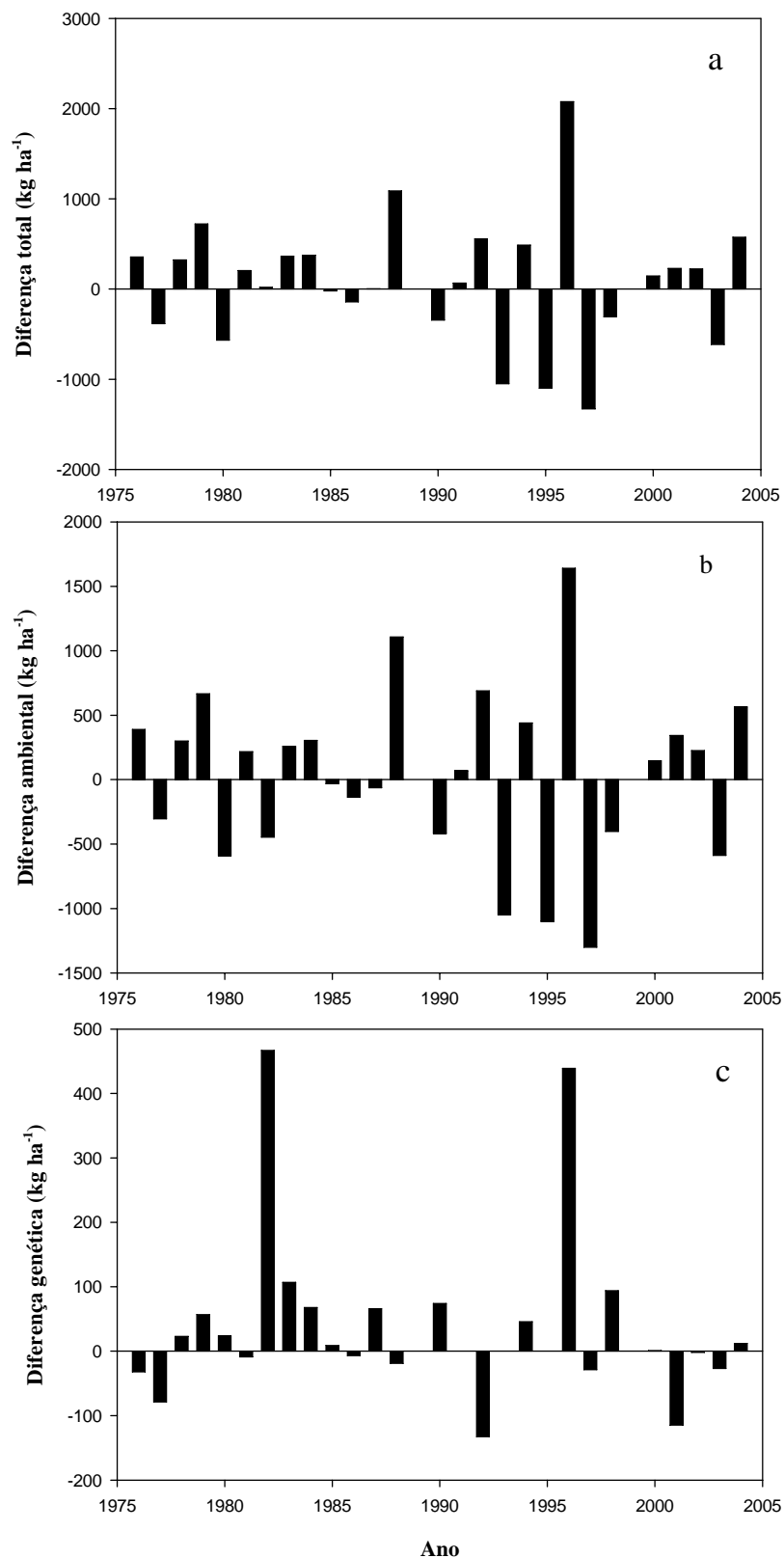


Figura 1 - Diferenças totais (a), ambientais (b) e genéticas (c) nos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) de trigo de sequeiro em cada par de anos, no período de 1976 a 2005, no Estado de Minas Gerais.

Da mesma forma, as diferenças genéticas anuais também foram de magnitude bastante variável, oscilando de -133 kg ha^{-1} a 467 kg ha^{-1} (Figura 1). Os ganhos (diferença) genéticos negativos indicam que em determinados pares de anos houve retrocesso na substituição dos genótipos descartados. Embora isso não seja esperado, é possível ocorrer, uma vez que as implicações do ambiente sobre os genótipos são bastante relevantes em cultivo do trigo de sequeiro. Entretanto, apesar das diferenças na média de produção de grãos devido ao efeito genético terem oscilado ao longo do período, verificou-se que as diferenças positivas são mais expressivas, demonstrando haver progresso genético ao longo dos anos, com o lançamento de novas cultivares pelos programas de melhoramento de trigo.

O progresso total (ganho genético e ambiental) obtido pelo melhoramento de trigo de sequeiro no Estado de Minas Gerais no período de 1976 a 2005 estimado pela metodologia de Vencovsky et al. (1986) foi de 1.971 kg ha^{-1} (Tabela 4).

Tabela 4 - Balanço do ganho genético e ambiental obtido pelo melhoramento de trigo de sequeiro no Estado de Minas Gerais no período de 1976 a 2005.

Ganho	(kg ha⁻¹)¹	(%)²	(kg ha⁻¹)³
Genético	1.035	52,6	37,0
Ambiental	936	47,4	33,4
Total	1.971	100	70,4

¹ Progresso em todo o período avaliado (1976 a 2005);

² Proporção do progresso genético e ambiental;

³ Progresso anual médio.

O ganho genético acumulado no período foi de 1.035 kg ha^{-1} , o que corresponde a 52,6% do progresso total estimado. Este ganho representa um incremento atribuível ao melhoramento genético médio anual de $37 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, o que significa dizer ainda que, segundo a metodologia utilizada, houve aumento na produtividade média de grãos na ordem de 6,7% ao ano, em relação à produtividade

média de referência do período, ou seja, aquela obtida em 1976. A produtividade média do primeiro ano do período avaliado foi de apenas 552 kg ha⁻¹, por isso o ganho genético médio anual em porcentagem de 6,7% ao ano foi elevado. No entanto, a estimativa do progresso genético médio anual de 37 kg ha⁻¹ ano⁻¹, que realmente interessa saber, foi significativa ($p < 0,05$) pelo teste t, sendo por esta razão considerada eficiente.

O progresso genético obtido pelo melhoramento genético na cultura do trigo, no Sul do Brasil, foi mais recentemente verificado por Nedel (1994). Este autor examinou o progresso pelo método direto utilizando uma amostra de apenas 15 cultivares de trigo lançadas para cultivo no período de 1940 a 1992 (52 anos) e observou um incremento de 17,3 kg ha⁻¹ ano⁻¹, na produtividade de grãos. Nos Estados Unidos, Cox et al. (1988) relataram um aumento de 16,2 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Deste modo, os programas de melhoramento de trigo de sequeiro desenvolvidos pelas instituições de pesquisa no Estado de Minas Gerais foram eficientes.

Pelos resultados do progresso genético estimado neste trabalho, pode-se notar que estes foram consideráveis aos estimados por outros autores em diversas culturas anuais. Para efeito de comparação, o melhoramento de soja resultou em ganhos anuais de 1,3% a 1,8%, no Paraná, no período de 1981 a 1986 (Toledo et al., 1990). O sorgo aumentou a produtividade, em média, 1,5% ao ano, no período de 1974 a 1988 (Rodrigues, 1990). Na cultura do arroz, Abbud (1991) estimou um ganho de 1,3% ao ano, no período de 1975 a 1988, no Paraná; Soares et al. (1999) estimaram o progresso em 0,84% a 1,6% ao ano, em Minas Gerais; Breseghello et al. (1999) no período de 1984 a 1993, no nordeste brasileiro, estimaram o ganho genético para esta cultura em 0,77% ao ano. Carvalho et al. (1997), avaliando o progresso genético de algodão herbáceo no nordeste brasileiro, obtiveram um ganho de 1,03% ao ano para

o rendimento de algodão em caroço. No Mato Grosso, Moresco (2003) estimou o progresso genético do algodão em caroço em 3,7% a 5,2% ao ano, valores semelhantes ao estimados neste trabalho.

Da mesma forma, houve ganho ambiental e tecnológico de 936 kg ha⁻¹ no período estimado, representando 47,4% do progresso total obtido (Tabela 4). Este ganho devido à melhoria do ambiente representa acréscimo de 33,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na produtividade média de grãos. De fato, já era de se esperar aumento expressivo na produtividade devido à melhoria ambiental, uma vez que o pacote tecnológico da cultura foi aperfeiçoado, assim como a fertilidade dos solos de cerrado foi melhorada. Em alguns anos, na localidade de São Gotardo, os experimentos foram instalados em área de pivô, após o cultivo de olerícolas como cenoura, batata, cebola entre outras, as quais apresentam elevado nível tecnológico, principalmente adubação, beneficiando a cultura do trigo devido ao resíduo deixado por essas culturas e, além disso, realizaram-se irrigações suplementares no início do ciclo, o que também contribuiu para o aumento da produtividade de grãos.

O progresso genético acumulado ao longo dos 30 anos de melhoramento do trigo de sequeiro em Minas Gerais apresentou três fases distintas (Figura 2). A primeira fase caracterizou-se por apresentar ganho genético negativo ou de baixa magnitude e conseqüentemente pouco progresso acumulado. Nesta fase, os trabalhos de melhoramento consistiam em introduzir e testar cultivares de várias instituições nacionais e internacionais. Possivelmente, estas cultivares, por serem de outras regiões, não apresentavam boa adaptação ao clima da região. Do início da década de 1980 a 1993, foi desenvolvido um programa de seleção em populações segregantes, dando assim início a segunda fase, com elevados ganhos, principalmente no par de anos 1982/1983, o qual teve taxa de renovação de genótipos de 71%. A partir de

1993, a terceira fase foi caracterizada por ações de melhoramento no estado, realizando-se hibridações e introduções de linhagens do CIMMYT (Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo), localizado no México (Comunicação Pessoal)¹. Nesta fase, o par de anos 1996/1997 obteve o maior ganho em todo o período. Da mesma forma, este par de anos também apresentou taxa de renovação de 81%. Estes fatos se devem, provavelmente, as mudanças nas ações e parcerias do programa de melhoramento que ocorreram no Estado de Minas Gerais.

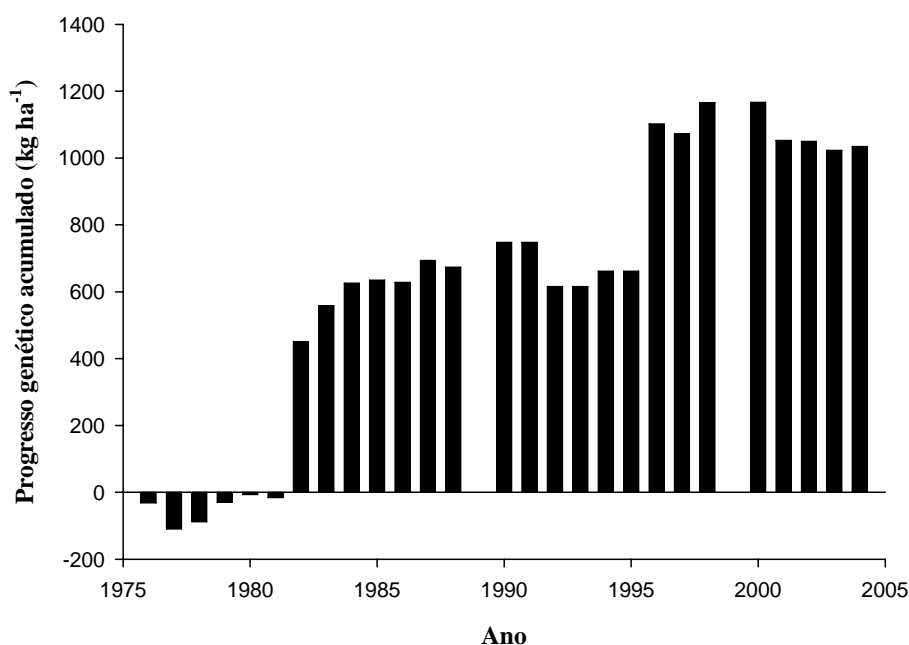


Figura 2 - Ganho genético acumulado ao longo dos 30 anos (1976 a 2005) de melhoramento do trigo de sequeiro no Estado de Minas Gerais.

Nos programas de melhoramento em avaliação, as cultivares obtidas contribuíram para a melhoria da produtividade de grãos, representando 52,6% do progresso total, porém as alterações ambientais contribuíram expressivamente para

¹ Consulta ao Prof^o Orientador Moacil Alves de Souza, o qual participou do programa de melhoramento do trigo em Minas Gerais, ao longo do período de 1976 a 2005, primeiramente pela EPAMIG e a partir de 1993 pela UFV.

este acréscimo, representando 47,4% da melhoria obtida no rendimento de grãos. No Brasil, Moreira et al. (1982) estimaram aumento na produtividade do trigo, devido a genótipos (ganho genético) em 22% do progresso total e Silvey (1981), na Inglaterra, em 40%. Porém, vale ressaltar que nenhum trabalho estimou o progresso genético e ambiental por um período semelhante a este por esta metodologia.

Assim, estes resultados evidenciam que os esforços empreendidos na busca de cultivares produtivas e adaptadas têm produzido resultados expressivos pelos programas de melhoramento de trigo de sequeiro conduzidos pelas instituições estaduais e federais de pesquisa agropecuária na seleção, avaliação e recomendação de novos genótipos de trigo de sequeiro para o Estado de Minas Gerais.

Conclusões

1. O ganho genético médio anual, em produtividade, obtido no período de 1976 a 2005 foi de $37 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, ou 6,7% ao ano.
2. As melhorias ambientais foram importantes para o acréscimo na produtividade no período de 1976 a 2005, representando 47,4% do progresso total obtido.
3. Os programas de melhoramento de trigo de sequeiro promovem 35% de renovação de genótipos ao longo dos anos.

Referências

- ABBUD, N.S. **Melhoramento genético do arroz (*Oryza sativa* L.) no Estado do Paraná de 1975 a 1989**. 1991. 141p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- ARIAS, E.R.A. **Adaptabilidade e estabilidade das culturas de milho avaliadas no Estado do Mato Grosso do Sul e avanço genético obtido no período de 1986/87 a 1993/94**. 1996. 118p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- ATROCH, A.L.; NUNES, G.H.S. Progresso genético em arroz de várzea úmida no Estado do Amapá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.767-771, 2000.
- BRESEGHELLO, F.; NAKANO, P.H.R.; MORAIS, O.P. Ganho de produtividade pelo melhoramento genético do arroz irrigado no Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.399-407, 1999.
- CARGNIN, A.; SOUZA, M.A.; CARNEIRO, P.C.S.; SOFIATTI, V. Interação entre genótipos e ambientes e implicações em ganhos com seleção em trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.987-993, 2006.
- CARVALHO, F.I.F.; FEDERIZZI, L.C.; NODARI, R.C.; SCHEEREN, P.; SERENO, M.J. Trigo, triticale, aveia e cevada da depressão Central do RS. **Lavoura Arrozeira**, v.33, p.34-39, 1980.
- CARVALHO, L.P.; BARBOSA, M.H.P.; COSTA, J.N.; FARIAS, F.J.C.; SANTANA, J.C.F.; ANDRADE, F.P. Progresso genético do algodoeiro herbáceo no Nordeste. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, p.283-291, 1997.
- COMISSÃO CENTRO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 13., 2004, Goiânia. **Indicações técnicas para a cultura de trigo na região do Brasil Central: safras 2005 e 2006**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2005. 85p.
- COX, T.S.; SHOYER, J.P.; BEN-HUI, L.; SEARS, R.G.; MARTIN, T.J. Genetic improvement in agronomic traits of hard red winter wheat cultivars from 1919 to 1987. **Crop Science**, v.28, p.756-760, 1988.
- CRUZ, C.D. **Programa Genes: Versão Windows - Biometria**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 381p.
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético II**. Viçosa: UFV, 2003. 585p.
- FEYERHERM, A.M.; KEMP, K.E.; PAULSEN, G.M. Genetic contribution to increased wheat yields in the USA between 1979 and 1984. **Agronomy Journal**, v.81, p.242-245, 1989.
- GRIEDER, A. A cultura do trigo em Minas. **Boletim de Agricultura, Zootecnia e Veterinária**, v.2, p.18-45, 1929.

MELLADO, M.Z. Mejoramiento de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) en la zona Centro sur de Chile, análisis del rendimiento y variables asociadas en trigos de primavera. **Agricultura Técnica**, v.60, p.32-42, 2000.

MOREIRA, J.C.; SOUZA, C.N.A.; MEDEIROS M.C. Avaliação do progresso na criação de cultivares de trigo. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE TRIGO, 12., Cascavel. **Anais...**, Passo Fundo: Embrapa CNPT, 1982. p.109-121.

MORESCO, E. R. **Progresso genético no melhoramento do algodoeiro no Estado de Mato Grosso**. 2003. 79p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

NEDEL, J.L. Progresso genético no rendimento de grãos de cultivares de trigo lançadas para cultivo entre 1940 e 1992. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, p.1565-1570, 1994.

RODRIGUES, J.A.S. **Progresso genético e potencial de risco da cultura do sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) no Brasil**. 1990. 171p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

SILVEY, V. The contribution of new wheat, barley and oat cultivars to increasing yield in England and Wales. **Journal of the Natural Institute Agriculture Botany**, v.15, p.399-412, 1981.

SOARES, A.A.; SANTOS, P.G.; MORAIS, O.P.; SOARES, P.C.; REIS, M.S.; SOUZA, M.A. Progresso genético obtido pelo melhoramento de arroz de sequeiro em 21 anos de pesquisa em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.415-24, 1999.

SOUZA, M.A. **Controle genético e resposta ao estresse de calor de cultivares de trigo**. 1999. 152p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

SOUZA, M.A. Época de plantio para a cultura do trigo em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v.9, p.38-42, 1983.

SOUZA, M.A.; RAMALHO, M.A.P. Controle genético e tolerância ao estresse de calor em populações híbridas e em cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1245-1253, 2001.

TOLEDO, J.F.F.; ALMEIDA, L.A.; KIIHL, R.A.S.; MENOSSO, O.G. Ganho genético em soja no Estado do Paraná via melhoramento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, p.89-94, 1990.

VENCOVSKY, R.; MORAES, A.R.; GARCIA, J.C.; TEIXEIRA, N.M. Progresso genético em vinte anos de melhoramento do milho no Brasil. In: CONGRESSO DE MILHO E SORGO, 9., 1986, Belo Horizonte. **Anais...**, Sete Lagoas: Embrapa CNPMS, 1986. p.300-307.

CONCLUSÕES GERAIS

O progresso genético médio anual estimado no período de 1976 a 2005 foi de 48 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (1,84% ao ano) e 37 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (6,7% ao ano), na produtividade média de grãos, nos sistemas irrigado e sequeiro, respectivamente. Apesar do ganho genético ter contribuído significativamente, as melhorias ambientais também foram importantes para o aumento da produtividade. Além disso, os programas de melhoramento de trigo irrigado e sequeiro promovem respectivamente, 33% e 35% de renovação de genótipos ao longo dos anos, evidenciando dinamismo dos programas.

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que após 30 anos de pesquisa no estado de Minas Gerais, o melhoramento genético do trigo irrigado e sequeiro, produziu resultados positivos e significativos, refletido nas estimativas do ganho genético médio em produtividade. Os evidentes ganhos indicam nitidamente que os programas de melhoramento do trigo em Minas Gerais mostraram-se eficientes, contribuindo para a melhoria da cultura e justificando plenamente os recursos alocados para a pesquisa.

Enfim, o melhoramento genético com a cultura do trigo em Minas Gerais tem desempenhado importante papel no progresso desta espécie, pois, é por meio dele que o agricultor dispõe de cultivares com alto potencial produtivo. Claramente observa-se uma mudança no perfil produtivo das cultivares, uma vez que o patamar de produtividade das cultivares atuais supera os 2.000 kg ha⁻¹ em cultivo de sequeiro e mais de 5.000 kg ha⁻¹ no irrigado.