JOSIANE CRISTINA DE ASSIS

PROGRESSO GENÉTICO EM TRÊS CICLOS DE SELEÇÃO RECORRENTE PARA TOLERÂNCIA AO CALOR EM TRIGO

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
2011

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

T
A848p
2011

Assis, Josiane Cristina de, 1982-
Progresso genético em três ciclos de seleção recorrente para tolerância ao calor em trigo / Josiane Cristina de Assis. – Viçosa, MG, 2011.
vii, 57f. : il. ; 29cm.

Orientador: Moacil Alves de Souza.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Trigo - Melhoramento genético. 2. Trigo - Efeito da temperatura. 3. Trigo - Seleção. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 633.1123

JOSIANE CRISTINA DE ASSIS

PROGRESSO GENÉTICO EM TRÊS CICLOS DE SELEÇÃO RECORRENTE PARA TOLERÂNCIA AO CALOR EM TRIGO

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: 18 de fevereiro de 2011

Prof. Valterley Soares Rocha

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

Felipe Lopes da Silva

Prof. Leonardo Lopes Bhering

Prof. Moacil Alves de Souza
(Orientador)

"Quando amamos e acreditamos do fundo de nossa alma, em algo, nos sentimos mais fortes que o mundo e somos tomados de uma serenidade que vem da certeza que nada poderá vencer nossa fé. Esta força estranha faz com que sempre tomemos a decisão certa, na hora exata e, quando atingimos nosso objetivo, ficamos surpresos com nossa própria capacidade."

Paulo Coelho

Àqueles que muito amo,

Meu pai, *Sebastião*, meu anjo, meu maior exemplo de ser humano;
Minha querida mãe, *Eloíza*, minha fortaleza, meu tudo;
Meu irmão, *Rafael*, meu grande companheiro;
Minha irmã, *Aline*, minha eterna bonequinha;

Ofereço.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do curso de doutorado.

À FAPEMIG, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador, prof. Moacil Alves de Souza, pela paciência, atenção e ensinamentos.

Ao professor José Eustáquio de Souza Carneiro, por toda ajuda.

Ao professor Valterley Soares Rocha, pela amizade e participação em minhas bancas de qualificação e defesa de tese.

Ao professor Leonardo Lopes Bhering e ao pesquisador Felipe Lopes, por se disponibilizarem prontamente a me ajudar nessa etapa tão importante de minha vida.

A todos os membros do Programa de Melhoramento de Trigo da UFV. Ao Davi, Juarez, Lisandra e Adérico; meus maiores parceiros no campo, por todos os momentos compartilhados.

Aos funcionários do Setor de Agronomia da UFV, em especial ao Sr. Onésio e Luciano.

Às amigas de república: Vanessa, Ana Paula, Talise, Neidi, Melissa, Ísis e Fernanda; por tantos momentos de amizade verdadeira.

Ao amigo José Ângelo de N. Menezes Júnior, pela enorme ajuda nesse trabalho.

À amiga Geny, por sempre estar presente.

À amiga Juliana Oliveira (Eterna Menina Jú!) por suas sinceras demonstrações de carinho.

À incrível amiga Juliana Milan e toda sua família, por todos os bons momentos, desde a graduação em Lavras até Rio Branco.

Aos primos Letícia e Claisson, por toda a torcida, choros e risadas.

Aos amigos Carlos Nick e Fabiana, grandes companheiros de sempre.

A todos os amigos do GenMelhor, em especial, Gustavo Dias e Gustavinho Guimarães.

Ao querido amigo Caio Césio, pelos inesquecíveis momentos de alegrias, festas e reuniões no Centro Espírita.

Ao Rodrigo, meu amado namorado, grande incentivador, amigo em todos os momentos, minha melhor companhia em todos esses anos fora de casa.

À toda minha família.

Ao meu papito Sebastião, por ser o meu pai e, assim, me ensinar que o amor verdadeiro só Deus consegue explicar.

À minha mãe Eloíza, por lutar para que eu pudesse chegar aqui. Por acreditar em mim, mesmo nos momentos mais difíceis. Seu pensamento positivo sempre me deu forças para superar todos os obstáculos. Todas as palavras de incentivo estão ainda guardadas comigo, no coração.

Ao meu irmão Rafael, pelo exemplo de coragem e pelo apoio incondicional.

À minha irmã Aline, por tantos momentos de alegrias.

À Didinha, por sempre me tratar como filha e por torcer sinceramente por mim.

E, acima de tudo, agradeço a Deus. Ele me ensinou a ter fé, me conduziu por caminhos por mim desconhecidos, me modificou e me fortaleceu. Ele trouxe à minha vida todas as pessoas que citei aqui e Ele vai estar comigo sempre, em todos os momentos, me guiando e me protegendo.

"...Quem me dera,ao menos uma vez,
Fazer com que o mundo saiba que Seu nome
Está em tudo e mesmo assim
Ninguém lhe diz ao menos OBRIGADO..."

MUITO OBRIGADA a todos que ajudaram, torceram ou oraram por mim!

ÍNDICE

RESUMO..... vi

ABSTRACT..... vii

1 INTRODUÇÃO GERAL..... 8

2 REVISÃO DE LITERATURA..... 10

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 21

3 CAPÍTULO I: PROGRESSO GENÉTICO APÓS TRÊS CICLOS DE SELEÇÃO RECORRENTE PARA TOLERÂNCIA AO CALOR EM TRIGO

3.1 INTRODUÇÃO..... 26

3.2 MATERIAL E MÉTODOS..... 28

3.3 RESULTADOS..... 32

3.4 DISCUSSÃO..... 36

3.5 CONCLUSÕES..... 40

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 41

4 CAPÍTULO II: ESTRATÉGIAS DE SELEÇÃO E PREDIÇÃO DE GANHOS GENÉTICOS EM TRIGO PARA TOLERÂNCIA AO CALOR

4.1 INTRODUÇAO..... 44

4.2 MATERIAL E MÉTODOS..... 46

4.3 RESULTADOS..... 51

4.4 DISCUSSÃO..... 58

4.5 CONCLUSÕES..... 63

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 64

5 CONCLUSÕES GERAIS..... 67

RESUMO

ASSIS, Josiane Cristina de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2011. **Progresso genético em três ciclos de seleção recorrente para tolerância ao calor em trigo**. Orientador: Moacil Alves de Souza. Co-Orientadores: José Eustáquio de Souza Carneiro e Pedro Crescêncio de Souza Carneiro.

Os objetivos foram estimar o progresso genético em três ciclos de seleção recorrente e predizer os ganhos genéticos na seleção de progênies no terceiro ciclo de seleção recorrente em trigo para tolerância a calor por meio de diferentes estratégias de seleção. As famílias do ciclo 0 foram avaliadas na Estação Experimental de Coimbra, pertencente à UFV.As famílias do primeiro ciclo de recombinação (ciclo I) e as do segundo ciclo (ciclo II) foram avaliadas no campo experimental Prof. Diogo Alves de Melo, no setor de Agronomia da UFV. Avaliou-se produtividade de grãos em todos os três ciclos. Em todas as avaliações das famílias foram realizadas as análises de variâncias e obtidas as estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos. Foi estimado o progresso genético para produtividade de grãos após três os três ciclos de seleção recorrente. Como os ciclos foram obtidos em anos diferentes, utilizou-se o desempenho de duas linhagens que estiveram presentes em todas as avaliações para atenuar o efeito do ambiente nas estimativas obtidas. A diferença entre os b's da regressão linear, entre os números de ciclo, variável independente (x), e o desempenho médio do carácter sob seleção, variável dependente (y), das progênies e das testemunhas, forneceu a estimativa do progresso genético. Para a predição de ganhos genéticos nas progênies do terceiro ciclo de seleção utilizou-se quatro estratégias: seleção truncada em produtividade de grãos (PG), Índice Clássico de Smith e Hazel, Índice de Soma de Postos e Índice de Padronização Z. Os caracteres incluídos nos índices foram: PG, número de espigas, peso de grãos por espigas, peso de mil grãos e índice de colheita. O progresso genético com a seleção recorrente foi de 8.4%, após três ciclos de seleção recorrente para produtividade de grãos. A existência de variabilidade genética entre as famílias, especialmente no último ciclo, evidencia a possibilidade de continuar obtendo sucesso com a seleção nos ciclos seguintes. Os ganhos preditos para produtividade de grãos com a utilização de diferentes estratégias de seleção nas progênies obtidas do terceiro ciclo de seleção variaram de 16,2 a 18,8%. Houve boa concordância na seleção de progênies obtidas do terceiro ciclo de seleção recorrente pela seleção direta e pelos índices de Smith e Hazel, Soma de Postos e somatório Z das variáveis padronizadas.

ABSTRACT

ASSIS, Josiane Cristina de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2011. **Genetic progress in three cycles of recurrent selection in wheat for heat tolerance.** Adviser: Moacil Alves de Souza. Co-advisers: José Eustáquio de Souza Carneiro and Pedro Crescêncio de Souza Carneiro.

The objectives were to estimate the genetic progress in three recurrent selection cycles and predict the genetic gains in the selection process in the third cycle of recurrent selection in wheat for tolerance to heat by using different selection strategies.The families of the cycle 0 were evaluated at the Experimental Station of Coimbra, belonging to UFV. The families of the first cycle of selection (cycle I) and the second cycle (cycle II) were evaluated in field experimental Prof. Diogo Alves de Melo, in the field of agronomy at UFV. We evaluated grain yield in all three cycles. In all evaluation of the families were the analysis of variance and the estimates of genetic and phenotypic parameters. We estimated the genetic progress for yield after three cycles of the three recurrent selection. As the cycles in different years, we used the performance of two groups that were present in all evaluations to mitigate the environmental effect in the estimates. The difference between the b's linear regression between the number of cycles, independent variable (x), and the average performance of the character under selection, the dependent variable (y), the progeny and witnesses, provided the estimate of genetic progress. To the prediction of genetic gain in the progenies of the third selection cycle, we used four strategies: truncated selection on grain yield (GY), Classic Index of Smith and Hazel, Index Rank Sum and Standardization Z Index. The characters included in the indices were: GY, ear number, grain weight per ear, grain weight and harvest index.The genetic progress by recurrent selection was 8.4% after three cycles of recurrent selection for grain yield. The existence of genetic variability among families, especially in the last cycle, suggests the possibility of continuous success with the selection in subsequent cycles.The predicted gains for grain yield with the use of different selection strategies in the progenies of the third selection cycle ranged from 16.2to 18.8%.There was good agreement in the selection of progenies of the third cycle of recurrent selection with direct selection and the indices and Hazel-Smith, Sum of Ranks and Z sum of the standardized variables.

1 INTRODUÇÃO GERAL

Por milhares de anos, o homem vem selecionando o trigo (*Triticum aestivum* L.) para diversos ambientes. Com a melhoria do manejo da cultura e a seleção de plantas, o trigo dispersou de sua região de origem, com clima mediterrâneo do oeste da Ásia, para outras regiões e é uma das plantas mais amplamente adaptadas no mundo.

Em condições ideais de desenvolvimento, o rendimento potencial de uma cultivar de trigo pode ser de até 20 000 kg ha $^{-1}$ (Hanson et al., 1982). No Brasil, a produtividade do trigo varia conforme a região, a cultivar utilizada, o tipo de cultivo, mas o fator preponderante é o clima. A produtividade média no país é de 2 500 kg ha $^{-1}$ (IBGE, 2010).

Percebe-se que, a produção nacional média está bem abaixo do potencial da cultura. Associado a isso, existe um déficit na produção brasileira de trigo que vem se repetindo há vários anos (AGRIANUAL, 2010), o que faz do Brasil um país altamente dependente da importação deste grão. Segundo o Ministério da Agricultura, foram importados em 2009 cerca de 5, 5 milhões de toneladas de trigo, a um custo de US$ 1,2 bilhão. Em 2010, para complementar o abastecimento de trigo, até o mês de setembro já haviam sido importados mais de cinco milhões de toneladas desse grão (MAPA, 2010).

Apesar das adversidades para a cultura do trigo no Brasil, os rendimentos de grãos obtidos têm sido crescentes, demonstrando a eficiência dos programas de melhoramento genético em desenvolver cultivares com alto potencial de rendimento e com qualidade de panificação, similar à dos trigos argentinos e canadenses (Federizzi et al., 2005).

A produção de trigo no Brasil concentra-se na região Sul, onde o estado do Paraná e Rio Grande do Sul contribuem com cerca de 90% da produção tritícola brasileira. Na região Central do Brasil, são produzidos 5% da produção nacional.

A despeito da modesta produção, têm sido obtidas altas produtividades de até 7 000 kg ha $^{-1}$. A colheita, entre final e o começo de setembro, ocorre antes do restante do país. Como ainda é entressafra em outras regiões, o trigo produzido na região do Brasil-Central normalmente garante melhor remuneração aos produtores. No entanto, essa região apresenta valores de temperaturas acima do ideal para o bom desenvolvimento da planta de trigo, que podem reduzir a produtividade de grãos.

Tal fato ocorre porque a planta de trigo responde ao estresse térmico em todas as fases de desenvolvimento com mudanças morfológicas e fenológicas (Wahid et al., 2007). Vários caracteres morfológicos são utilizados para mensurar os efeitos do calor sobre a

planta de trigo, as quais por sua vez estão diretamente associadas aos componentes da produção, tais como número de espigas por unidade de área, número de grãos por espiga e peso médio dos grãos. Além disso, em diversos estudos tem sido constatado que o maior rendimento de grãos causa uma alteração paralela em outros caracteres, a exemplo, o índice de colheita (Maich et al., 2000).

Além do fato do trigo ser uma planta originária de clima frio, o que prejudica sua adaptação em regiões com temperaturas mais elevadas, estudos numéricos com modelos de circulação geral da atmosfera (GCM – general circulation models) indicam que é bastante provável que se verifique aumento de 1 a 6 $^{\circ}$C na temperatura média do ar, até o final deste século, em vários locais do Planeta (IPCC, 2007).

Alguns programas de melhoramento genético do trigo têm buscado alternativas para aumentar o potencial produtivo dessa espécie em ambientes com estresse de calor. Sem dúvida o germoplasma mexicano, desenvolvido pelo CIMMYT (Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo), reúne o maior número genótipos amplamente adaptados às condições tropicais. No Brasil, a única iniciativa de melhoramento explícito para tolerância ao calor está sendo realizada pela Universidade Federal de Viçosa. Entretanto, há de se considerar que nos programas de melhoramento desenvolvidos na região do Brasil-Central os genótipos selecionados certamente possuem genes que lhes conferem tolerância ao estresse térmico.

Tratando-se de carácter de herança complexa, uma estratégia de melhoramento para tolerância ao calor é o uso da seleção recorrente. A seleção recorrente aumenta a frequência de alelos favoráveis na população e, dessa forma, melhora a expressão fenotípica do carácter em seleção (Geraldi, 1997). Assim, com o decorrer dos ciclos de seleção recorrente melhora-se o desempenho médio da população, permitindo que cada ciclo possa ser utilizado como fonte de novas linhagens (Ramalho et al., 2001).

A partir deste conceito, o presente trabalho foi desenvolvido no intuito de detectar e explorar a variabilidade genética para tolerância ao calor entre famílias e populações segregantes de trigo; detectar variáveis a serem utilizadas como critério de seleção e predizer os ganhos genéticos em três ciclos de seleção recorrente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Influências climáticas na produtividade da cultura do trigo

Acredita-se que o trigo foi cultivado pela primeira vez entre os rios Tigre e Eufrates, na antiga Mesopotâmia, atual Iraque, ao redor de 6 700 A.C. Desde os primórdios da agricultura no sudoeste da Ásia, há cerca de 10 000 anos, as histórias do trigo e da civilização humana estão interligadas.

No Brasil, as primeiras sementes foram trazidas em 1 534 para a Capitania de São Vicente. Entretanto, a ascensão da triticultura no período colonial ocorreu no Rio Grande do Sul, onde esta cultura encontrou condições mais adequadas ao seu desenvolvimento. Até os dias atuais a produção de trigo no Brasil concentra-se na região Sul.

O estádio de desenvolvimento no qual a planta é exposta ao calor vai determinar os danos na cultura, que são cumulativos (Wollenweber et al., 2003). Tanto a fase vegetativa quanto a reprodutiva é afetada pelo estresse térmico, que leva a indução de modificações diretas ou indiretas em processos fisiológicos, mudando o padrão de desenvolvimento das plantas (Wahid et al., 2007).

Os primeiros efeitos do estresse de calor podem ser observados na fase de germinação e emergência das plântulas, quando toda fonte de carbono necessária para as reações fisiológicas é dependente do estoque deste elemento no endosperma. Em todas as fases de desenvolvimento a planta pode responder ao estresse térmico com mudanças morfo-anatômicas e fenológicas. Além da diferente resposta fisiológica, seja nas relações hídricas, no acúmulo de osmólitos e na termoestabilidade das membranas, ocorrem também mudanças hormonais e formação de metabólitos secundários e antioxidantes (Wahid et al., 2007).

2.2 Melhoramento para Tolerância ao calor em trigo

A temperatura é fundamental no desenvolvimento e na produção do trigo. Isoladamente, ou em conjunto com os demais fatores ambientais, ela influencia em todos os processos fisiometabólicos da planta, direta ou indiretamente. Para cada fase de desenvolvimento da planta de trigo existe uma faixa de temperatura ótima, acima da qual a planta começa a sofrer por estresse térmico.

Estresse térmico é definido como o aumento da temperatura além do limiar suportado pela cultura, em intensidade e por período de tempo suficiente para causar danos irreversíveis ao crescimento e/ou desenvolvimento das plantas (Wahid et al., 2007). É uma função complexa, que depende da intensidade, duração e taxa de aumento da temperatura.

Os programas de melhoramento de trigo têm buscado genótipos tolerantes a esse tipo de estresse, ou seja, plantas com habilidade para crescer e produzir de maneira economicamente viável em altas temperaturas.

Para a obtenção de cultivares com tolerância ao calor é essencial haver variabilidade genética para esse carácter. O sucesso do melhoramento é dependente do desenvolvimento de metodologias capazes de identificar e quantificar caracteres relacionados à tolerância ao calor e que possibilitem a utilização de métodos de seleção seguros e eficientes (Souza, 1999). A existência de variabilidade genética, quanto à tolerância ao calor em plantas de trigo, tem sido constatada em alguns estudos (Cargnin et al., 2006; Machado, 2008).

A planta de trigo expressa tolerância ao calor de forma diversificada durante todo o seu ciclo por diferentes mecanismos. Diante dessa complexidade, é de supor que a expressão da tolerância ao calor na produção de grãos é controlada por vários genes que se expressam em momentos distintos (Souza, 1999).

2.3 Seleção Recorrente em Plantas Autógamas

A maioria dos caracteres de importância para o melhoramento de plantas possui distribuição contínua e quase sempre os alelos de interesse estão presentes em genitores diferentes. Um complicador adicional está no fato de que os melhoristas, geralmente, trabalham com mais de um carácter no processo de seleção, portanto, é praticamente impossível obter uma linhagem que reúna todos os alelos favoráveis para os caracteres de interesse em apenas uma etapa ou ciclo de seleção. Nessa condição, a seleção recorrente é uma alternativa os métodos tradicionais de melhoramento de plantas autógamas.

A seleção recorrente é um processo cíclico de seleção de genótipos de uma população, seguida da recombinação destes para formar uma nova população. Esta população pode ser utilizada para início de um novo ciclo de seleção, e assim sucessivamente, sendo um processo dinâmico e contínuo. Desse modo, a partir de uma população original (Ciclo 0) obtém-se as populações de Ciclos 1, 2, ... n (Geraldi, 2005). Esse processo visa aumentar gradativamente a freqüência de alelos favoráveis para uma

carácter quantitativa, sem reduzir a variabilidade genética, por meio de repetidos ciclos de seleção, avaliação e recombinação.

Existem também outras vantagens em se realizar a seleção recorrente como a obtenção de maior variabilidade genética oriunda dos intercruzamentos; a oportunidade para a ocorrência de recombinações, devido aos intercruzamentos sucessivos; o aumento das freqüências dos alelos favoráveis, devido a um processo repetitivo de seleção e a facilidade para incorporação de germoplasma exótico na população (Ramalho et al., 2001; Geraldi, 2005).

Um ciclo de seleção recorrente envolve basicamente três fases: *i)* obtenção das progênies (população base); *ii)* avaliação de progênies e; *iii)* recombinação das progênies superiores para formar o próximo ciclo.

O primeiro passo, a escolha dos parentais, é a etapa que merece máxima atenção do melhorista, pois dela depende todo o sucesso futuro. Os genitores devem apresentar o maior número de fenótipos desejáveis. Nesse sentido devem ser escolhidas as linhagens e ou cultivares mais adaptadas e divergentes, possibilitando associar desempenho favorável e alto nível de variabilidade genética, que são condições indispensáveis para se obter sucesso com a seleção (Ramalho et al., 2001).

Alguns programas de melhoramento de espécies autógamas utilizam a macho-esterilidade genética para facilitar a recombinação gênica. No entanto, a maioria dos programas de melhoramento de trigo não utiliza macho-esterilidade; realiza-se a emasculação e assim procede-se a hibridação. Dessa forma, apesar de mais trabalhosa, a recombinação é feita de forma direcionada, o que constitui vantagem para o trigo e outras espécies autógamas.

Uma alternativa para a realização dos intercruzamentos e que tem sido utilizada com sucesso é a metodologia proposta por Bearzoti, descrita por Ramalho et al. (2001). Nesse esquema, os genitores são cruzados segundo um esquema de dialelo circulante, em que cada um participa de dois cruzamentos. Eles são direcionados de forma que, nos sucessivos intercruzamentos, a contribuição de cada genitor seja a mesma. Considerando 10 genitores, por exemplo, em cada intercruzamento, 10 populações híbridas serão obtidas.

A maior parte dos conhecimentos sobre a seleção recorrente foi gerada com o milho, uma espécie alógama. Contudo o seu emprego tem sido ampliado nas últimas décadas com sucesso, em inúmeros países, em várias espécies autógamas. Em trigo, a seleção recorrente

tem sido utilizada com resultados satisfatórios, como constatado por Maich et al. (2000), que encontraram progresso genético de 15% após dois ciclos de seleção recorrente. Também foi demonstrado um indicativo de progresso genético após dois ciclos de seleção recorrente visando tolerância ao calor em genótipos de trigo no trabalho de Machado et al. (2010).

2.4 Estimativa de progresso genético

A estimativa do progresso genético ao final de cada ciclo de recombinação com a seleção recorrente é importante para avaliar as estratégias de condução do programa e propor alterações, se necessário. Devido à endogamia, uma população de plantas autógamas não permanece em equilíbrio após a recombinação. Para contornar essa situação, diversas alternativas têm sido empregadas para estimar o progresso genético de um programa de melhoramento.

Uma opção é avaliar as progênies $S_{0:1}$ e $S_{0:2}$ de cada ciclo seletivo. Para isso, é necessário guardar as sementes das progênies dos diferentes ciclos, para avaliação conjunta. Entretanto, se o número de ciclos e, especialmente, de progênies for grande, o trabalho torna-se inviável.

Outra opção é comparar as progênies de cada ciclo na mesma geração de endogamia e utilizar, nas avaliações das progênies, uma ou mais testemunhas comuns. Desse modo, o desempenho dessas testemunhas indica a variação ambiental e o das progênies inclui a variação ambiental e genética.

Na Tabela 1 é apresentada síntese de resultados dos progressos genéticos obtidos em programas de melhoramento de plantas autógamas em que tem sido empregada a seleção recorrente.

TABELA 1 Resultados de programas de seleção recorrente em plantas autógamas.

Cultura	Nº de ciclos de seleção	Progresso genético por ciclo	Fonte
Arroz	3	4,7%	Rangel et al (2002)
Aveia	3	4,0%	Payne et al (1986)
Feijão	5	2,1%	Amaro (2006)
Feijão	8	3,3%	Silva et al. (2010)
Trigo	7	1,88%	Moya et al. (2002)
Trigo	6	11%	Gil et al. (2003)
Trigo	2	7,5%	Maich et al. (2000)

2.5 Controle genético de alguns caracteres importantes para a cultura do trigo

A obtenção de informações sobre a variabilidade genética e do tipo predominante da ação gênica que controla os caracteres é de fundamental importância para orientar os melhoristas nas estratégias a serem adotadas na seleção. Nesse tópico o controle genético de alguns caracteres será comentado.

2.5.1 Produção de Grãos

A produtividade de grãos é um carácter cujo ganho normalmente é pequeno a cada ciclo de seleção. Esse carácter é poligênico e muito influenciado pelo ambiente. Atualmente, há disponibilidade de cultivares de trigo com potencial de rendimento elevado e que chegam atingir níveis de produtividade entre 6 000 a 7 000 kg ha^{-1} (100 a 117 sacos ha^{-1}) no sul do Brasil e superiores a 8 000 kg ha^{-1} (133 sacos ha^{-1}) no Brasil Central, em condições de cultivo irrigado (Pires et al., 2005).

O recorde mundial oficial de rendimento de trigo foi de 13 990 kg ha^{-1} para uma cultivar de trigo no Reino Unido (UK), em 1981. Em 2004, um agricultor da Nova Zelândia obteve rendimentos produzidos por duas cultivares de trigo de 16 200 Kg ha^{-1} e 14 300 Kg ha^{-1} (Chalmers, 2003). Assim, o potencial máximo de produtividade de grãos de trigo ainda não foi alcançado pelas cultivares disponíveis no mercado.

Na Região do Brasil-Central, com abrangência nos estados de Goiás, Distrito Federal e Minas Gerais, os primeiros resultados da produção tritícola ocorreram no final da década de 60 e no início dos anos 70, em experimentos conduzidos em várzeas em Minas Gerais, onde foram atingidas produtividades de grãos de até 5 000 kg ha^{-1}, sob irrigação. Motivados por esses resultados, diversos trabalhos sobre o cultivo de trigo irrigado e em regime de sequeiro foram conduzidos em outros pontos do Brasil-Central. A partir da década de 80, ao mesmo tempo em que as lavouras eram equipadas com irrigação por aspersão, surgiram novas cultivares de porte mais baixo e mais tolerantes às doenças. Paralelamente, novas práticas culturais foram incorporadas aos sistemas de produção e a produtividade da lavoura irrigada já alcançava o patamar dos 6 000 Kg ha^{-1} em MG e DF (Silva et al., 2001).

Para romper a barreira na produtividade, o melhorista deve ficar atento às principais fontes de variabilidade que podem ser exploradas para o desenvolvimento de cultivares que maximizem os componentes de rendimento em trigo: número de espigas por planta, número de grãos por espiga e peso de grãos por espiga.

Número de espigas por planta

A emissão, o desenvolvimento e a sobrevivência dos perfilhos são de extrema importância para a cultura do trigo. Este carácter está diretamente relacionado ao número de espigas por unidade de área e indiretamente aos componentes do rendimento número de grãos por espiga e peso de grãos (Davidson e Chevalier, 1990). Um dos motivos da baixa produtividade média das lavouras de trigo, no Brasil, tem sido atribuído à pequena participação de perfilhos férteis na formação do rendimento final (Mundstock, 1999).

Os efeitos do ambiente e do manejo da lavoura sobre a expressão da capacidade de perfilhamento têm sido estudados em diversos trabalhos; a densidade de semeadura foi identificada como uma das técnicas culturais que mais influenciam a produtividade de grãos e seus componentes (Ozturk et al., 2006). A maximização do rendimento de grãos em relação à densidade de semeadura está fortemente relacionada ao potencial do genótipo em produzir perfilhos férteis, o que também influencia, de forma direta, o número de espigas produzidas por unidade de área (Ozturk et al., 2006).

Número de grãos por espiga

O período crítico para definição do rendimento em trigo (espigueta-terminal antese) se caracteriza como a etapa de crescimento da espiga no interior do colmo (pré-espigamento). A maior parte dos avanços obtidos no aumento do rendimento potencial de trigo no mundo, por programas de melhoramento genético, foram alcançados graças às mudanças ocorridas nessa etapa de crescimento da espiga, principalmente, envolvendo modificações no padrão de partição de assimilados fotossintéticos, com maior direcionamento para as espigas (Slafer et al., 2001).

Para aumentar os ganhos genéticos, a fertilidade da espiga também precisa ser melhorada para permitir a plena utilização da capacidade fotossintética durante todo o ciclo de vida da cultura.

Peso de grãos por espiga

O progresso genético do potencial de rendimento é fortemente associado com aumentos no número de grãos enquanto peso de grãos é reduzido (Slaferet al., 1994). Isso ocorre porque existe competição por fotoassimilados entre estes dois caracteres, durante o enchimento de grãos. No entanto, o aumento no peso de grãos contribui para o aumento da produtividade em trigo (Calderini et al., 1995).

A relação entre número e peso de grãos sugere que o peso de grãos é co-limitado pela fonte e pelo dreno, ou seja, o número de grãos (dreno) influencia negativamente o tamanho dos mesmos por competição, enquanto a habilidade de aproveitar assimilados (remobilização e *stay-green*) durante o enchimento de grãos representa a limitação pela fonte. O entendimento das bases fisiológicas e genéticas do tamanho de grãos poderia ser um grande passo para o aumento de rendimentos.

O que se espera é que o maior peso de grãos por espiga represente maior densidade de grãos, o que é comumente relacionado ao peso de mil grãos. Em média, para as cultivares brasileiras, 1 000 grãos pesam 40 g. No entanto, para trigo duro essa média pode ser maior, podendo atingir 52 g, conforme Rawashdeh et al. (2007). Esses autores avaliaram a diversidade genética para peso de mil grãos em trigo duro em acessos de duas regiões na Jordânia: Karak e Ajloun. A partir dos resultados, os autores sugeriram que a região de Ajloun, por apresentar grande variabilidade de genótipos para esse carácter, seria um reservatório de genes a ser explorado pelos programas de melhoramento de trigo duro.

2.5.2 Altura de plantas

No Brasil, até o final da década de setenta, as cultivares de trigo lançadas para semeadura eram de porte alto, suscetíveis ao acamamento, com baixo potencial produtivo (Camargo et al., 1998). A introdução de cultivares de porte semi-anão em trigo é considerada uma das causas dos grandes avanços no melhoramento de plantas do século XX (Rajaram, 2001), especialmente com a introdução dos genes de nanismo *Rht*. Segundo Merezhko (1998), apesar de já terem sido identificados 20 genes *Rht* controlando esse carácter, foram encontradas diferenças entre acessos contrastantes para altura da planta determinada pelo controle de um a três genes.

É conhecido que genes que causam o fenótipo semi-anão (*Rht*) codificam reguladores negativos de giberelina, GA (Sakamoto e Matsuoka, 2004). A giberelina atua no

alongamento e divisão celular, por isso, as plantas portadoras dos genes tendem a ter tamanho reduzido e colmo mais forte em função da concentração do número de células no tecido. O efeito de genes como *Rht1*, *Rht2*, *Rht3* e *Rht8*, sobre inúmeros caracteres e desenvolvimento da planta de trigo, vem sendo amplamente estudado (Zanatta e Oerlecke, 1991). Linhas quase isogênicas portadoras dos genes *Rht1* e/ou *Rht2* ou *Rht3* produzem 10 a 25% a mais que suas irmãs altas (Hoogendoorn et al., 1988). *Rht1* e *Rht2* são dois genes parcialmente recessivos, com efeito aditivo e supressor sobre a estatura e diferem quanto à sua contribuição para o aumento do número de perfilhos e da fertilidade das espiguetas (Gale et al., 1981). Isto sugere que seria vantajoso tê-los juntos em um programa de melhoramento visando obter cultivares semi-anãs, com alta produtividade.

2.5.3 Índice de colheita

O índice de colheita (IC) é a razão entre o peso de grãos e o peso da parte aérea da planta seca. O aumento da temperatura acelera a taxa de crescimento das plantas e reduz o tempo de enchimento dos mesmos, alterando dessa forma o índice de colheita. O estresse de calor na fase de enchimento de grãos afeta a disponibilidade de fotoassimilados, a translocação de reservas de fotossintatos e a síntese e armazenamento de amido (Acevedo et al., 1990). Esses autores afirmam também que altas temperaturas promovem aceleração da aquisição de fontes fotossintéticas, devido à maior taxa de crescimento, conseqüentemente o suprimento de fotoassimilados para manter o equilíbrio fonte-dreno não é suficiente e proporciona queda no peso médio de grãos. Em situações de estresse térmico, o enchimento de grãos torna-se mais dependente da mobilização de reservas armazenadas no colmo. Quanto maior a capacidade da cultivar em translocar assimilados do colmo ou parte aérea para o enchimento de grãos, maior será o índice de colheita.

A herdabilidade desse carácter é alta (0,80). A utilização desse índice como critério de seleção pode levar a ganhos de até 24%, em ambiente seco e quente. Se houver a combinação de índice de colheita e biomassa na antese, os ganhos podem ser de até 34% (Reynolds et al., 2007).

2.6 Seleção para vários caracteres

Para atender as exigências do produtor e do consumidor, os melhoristas de plantas podem selecionar para vários caracteres simultaneamente e obter cultivares que reúnam uma série de atributos favoráveis. Para a seleção de mais de um carácter, três opções podem ser adotadas: seleção em tandem, níveis independentes de eliminação e índice de seleção (Bernardo, 2002; Falconer e Mackay, 1996).

Na seleção em tandem, seleciona-se por algumas gerações para um carácter de interesse até atingir o objetivo almejado. Em seguida, seleciona-se para um segundo carácter e assim por diante. Se dois caracteres são correlacionados de maneira favorável, então, a seleção para o primeiro carácter conduz ao melhoramento do segundo. Em caso contrário, a seleção para um carácter poderia causar resposta desfavorável no segundo carácter e a seleção subsequente para o segundo carácter poderia retroceder alguns dos progressos já alcançados para o primeiro (Bernardo, 2002).

O uso dos níveis independentes de eliminação requer o estabelecimento de um nível mínimo de desempenho para cada carácter considerado. Assim, somente os indivíduos que apresentam um padrão mínimo para cada carácter são selecionados. Do ponto de vista prático, uma limitação dos níveis independentes de eliminação é que o procedimento, se estritamente aplicado, não conduzirá à seleção de um indivíduo que está abaixo do padrão para um único carácter, mas que é excepcional para outros (Bernardo, 2002).

A terceira estratégia, denominada de índice de seleção, considera, simultaneamente, a seleção de todos os caracteres de interesse, gerando uma variável adicional que resulta da ponderação dos caracteres por meio de coeficientes pré-estabelecidos (Cruz et al, 2004).

2.7 Índices de seleção

Os índices de seleção foram inicialmente propostos para a seleção simultânea de diversos caracteres e, por requerem a obtenção de estimativas de variâncias e covariâncias, são mais apropriados para programas de seleção recorrente. Posteriormente, desenvolveram-se outros índices, que por não requererem o conhecimento de tais estimativas, podem ser aplicados tanto em programas de seleção recorrente, como para a seleção de genótipos já fixados, como clones, linhagens e híbridos.

O índice pode ser estabelecido pela combinação ótima de vários caracteres, permitindo a seleção de indivíduos para esses de forma simultânea (Martins et al., 1999). A introdução de índices de seleção no melhoramento vegetal foi realizada por Smith (1936).

Desde então, diversas variantes dos índices de seleção foram propostas como modificações da metodologia no intuito de torná-la mais adequada à determinada situação.

2.7.1 Índices de seleção lineares

O primeiro índice relatado na literatura foi desenvolvido por Smith (1936), e consiste numa combinação linear dos vários caracteres de importância econômica, cujos coeficientes de ponderação são estimados de modo a maximizar a correlação entre o índice e o agregado genotípico. Posteriormente, Hazel (1943) o adaptou para o melhoramento animal, e por isso, alguns autores o denominam índice de Smith e Hazel.

A teoria básica apresentada por Smith (1936) e Hazel (1943) tem o índice de seleção como um carácter adicional que, quando utilizado para a seleção, possibilita maximizar os ganhos simultaneamente em todos os caracteres avaliados. A estimação dos índices de seleção é dependente da disponibilidade de matrizes de variâncias e covariâncias genéticas e fenotípicas bem estimadas e de pesos econômicos bem estabelecidos. Resultados satisfatórios para o índice Smith e Hazel (SH) foram encontrados em diversos trabalhos (Granate et al., 2002; Paula et al., 2002).

2.7.2 Índices de seleção não lineares

Um segundo grupo é o dos índices não lineares que, teoricamente, podem ser aplicados tanto na seleção recorrente quanto para selecionar cultivares. O **Índice de soma de postos** (SP) foi proposto por Mulamba & Mock (1978) e baseia-se no seguinte princípio: classificam-se os genótipos em relação a cada um dos caracteres, posteriormente são somadas as ordens de cada genótipo referente a cada carácter, resultando numa medida adicional tomada como índice de seleção.

2.7.3 Índice de seleção padronizado (Índice Z)

Essa metodologia foi proposta por Nunes et al. (2005) e é também conhecido como método “Bola cheia ou Bola murcha”. Nesse método, como originalmente proposto, a seleção era apenas visual e para estudos de adaptabilidade e estabilidade de cultivares. No entanto, esses autores propuseram uma alternativa para outra situação do emprego desse índice, em que a seleção deixa de ser subjetiva e se fundamenta em estimativas de parâmetros estatísticos.

O Índice Z tem como fundamento a padronização das variáveis estudadas e, a partir disso, a análise e a construção de um sistema gráfico em que cada variável ocupa um dos semi-eixos. Assim, com pelo menos três variáveis, pode-se ter uma perfeita visualização do desempenho do indivíduo com relação a todos esses caracteres, simultaneamente.

Pelo método do índice Z, há rápida e fácil identificação dos indivíduos de melhor desempenho. A expressão "bola cheia" é utilizada para o indivíduo que tem valores favoráveis para todos os caracteres e a expressão "bola murcha", quando o indivíduo é deficiente em alguma ou, até mesmo, em todos os caracteres (Marques Júnior et al., 1996).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, E.; NACHIT, M.; FERRARA, G. O. Effects of heat stress on wheat and possible selection tools for use in breeding for tolerance. In: **International conference: Wheat for the nontraditional warm areas**, 1990, Fozdo Iguaçu, Brasil. Procedings…, Mexico: CIMMYT, 1991, p.401-21.

AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: Agra FNP – Instituto FNP, 2010. 515p

AMARO, G. B**. Seleção recorrente fenotípica no feijoeiro visando a resistência a *Phaeoisariopsisgriseola***. 2006. 90 p. Tese (Doutorado em genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants.** Woodbury: Stemma, 2002. 368p.

CALDERINI, D. F.; DRECCER, M. F.; SLAFER, G. A. Genetic improvement in wheat yield and associated traits.A re-examination of previous results and the latest trends.**PlantBreeding**, v.114, p.108-112, 1995.

CAMARGO, C.E.O.; FERREIRA-FILHO, A.W.P.; FELICIO, J.C. Herdabilidade e correlações entre caracteres agronômicas em populações híbridas de trigo. **Bragantia**, Campinas, v.57, p.95-104, 1998.

CARGNIN, A.; SOUZA, M.A.; ROCHA, V.S.; MACHADO, J.C.; PICCINI, E. Tolerância ao estresse térmico em genótipos de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília,v.41, n.8, p.1269-1276, ago., 2006.

CHALMERS, H. 2003. Record wheat crop at 16t/ha. Pg.12. **Rural News** (NZ), Issue 307.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S**. Modelos Biométricos aplicados ao Melhoramento de Plantas**. 2004. Viçosa, MG. 480p.

DAVIDSON, D. J.; CHEVALIER, P. M. Preanthesis tiller mortality in spring wheat.**Crop Science**, v.30, p.832-836, 1990.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. London: Longman Malaysia, 1996. 463p.

FEDERIZZI, L. C.; SCHEEREN, P. L.; BARBOSA NETO, J. F.; MILACH, S. C. K.; PACHECO, M. T. 2005. Melhoramento do trigo. In: Borem, A. (Ed). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. p.659- 697.

GALE, M. D.; MARSHALL,G. A.;GREGORY, R. S.;QUICK, J. S. Norin 10 semi-dwarfism in tetrploid wheat and associated effects on yield. **Euphytica**, v.30, n.2, p.347-354, 1981.

GERALDI, I. O. Seleciónrecurrente em elmejoramiento de plantas. In: GUIMARÃES, E.P. [Ed.]. **Seleciónrecurrente em arroz.** Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1997. p.3-11

GERALDI, I. O. Por que realizar seleção recorrente? In: SIMPÓSIO DE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 9., 2005, Lavras. **Anais...,** Lavras: UFLA, 2005. 97p.

GIL, S. P.; MANERA, G.; DUBLIS, M. E.; MAICH, R. H. Spike changes associated to six cycles of recurrent selection in bread wheat (*Triticumaestivum*L.). **Agriscientia,** Córboda, v.10, p.95-98, 2003.

GRANATE, M. J.; CRUZ, C. D.; PACHECO, C. A. P. Predição de ganho genético com diferentes índices de seleção no milho pipoca CMS-43. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.7, p.1001-1008, 2002.

HANSON, H.; BOURLAUG, N. E.; ANDERSON, R. G. **Wheat in the Third World**.1982. IADS Development Oriental Literature Series. Westiview Press, Boulder, Colorado, USA.

HAZEL, L. N. The genetic basics for constructing selections indexes.**Genetics**, New York, v.28, n.6, p.476-490, 1943.

HOOGENDOORN, J.; GALE, M. D.The effects of dwarfing genes on heat tolerance in CIMMYT germoplasm. In: JORNA, M. L.; SLOOTMAKER, L. A. J. (Eds.). **Cereal breeding related to integrated cereal production**. Wageningen: Pudoc, p.61-66, 1988.

IBGE, 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.**Levantamento Sistemático da Produção Agrícola .** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_impressao.php?id_noticia=160 > Acesso em: 12 fev.2010.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. 2007. **Climate change - the physical science basis: summary for olicymakers**. IPCC, Geneva, 18p.

MACHADO, J. C. **Melhoramento de trigo para tolerância ao calor e qualidade de grãos**. 2008. 74p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MACHADO, J. C.; SOUZA, M. A.; OLIVEIRA, D. M.; CARGNIN, A.; PIMENTEL, A. J. B.; ASSIS, J. C. Recurrent selection as breeding strategy for heat tolerance in wheat**. Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, p.9-15, 2010.

MAICH, R. H.; GAIDO, Z. A.; MANERA, G. A.; DUBOIS, M. E. Two cycles of recurrent selection for grain yield in bread wheat. Directeffectandcorrelated responses. **Agriscientia**, v.17, p.35-39, 2000

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2010. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/>. Acesso em 1/11/2010

MARQUES JÚNIOR, O. G.; FERREIRA, D. F.; RAMALHO, M. A. P. Emprego de um método gráfico para a escolha de cultivares, considerando vários caracteres no feijoeiro. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 5., 1996, Goiânia. **Anais...,** Goiânia: EMBRAPA Arroz e Feijão, 1996. p.347-349.

MARTINS, P. R.; PARENTONI, S. N.; LOPES, M. A.; PAIVA, E. Eficiência de índices fenotípicos de comprimento de raiz seminal na avaliação de plantas individuais de milho quanto à tolerância ao alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasilia, v.34, n.10, p.1897-1904, 1999.

MEREZHKO, A. F. Impactofplantgeneticresourcesonwheatbreeding. **Euphytica,** Dordrecht, v.100, p.295-303, 1998.

MOYA, E. S.; MIR, H. E. V.; GALAN, J. D. M.; RANGEL, E. E.; SANTANA, T. C.; GARZA, A. M. Selecciónmasal visual recurrente para rendimiento de grano en una poblaciónandroestéril de trigo harinero. **Agrosciencia,** Córboda, v.36, p.191-200, 2002.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **EgyptJournalGeneticCytology**, Alexandria, v.7, p.40-51, 1978.

MUNDSTOCK, C. M. **Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo**. Porto Alegre: Ed. doAutor, 1999. 228p.

NUNES, J. A. R.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Graphical method in studies of adaptability and stability of cultivars.**Annual Report of the Bean Cooperative**, Fort Collins, v.48, p.182-183, 2005.

OZTURK, A.; CAGLAR, O.; BULUT, S. Growth and yield response of facultative wheat to winter sowing, freezing sowing and spring sowing at different seeding rates. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.192, p.10-16, 2006.

PAYNE, T. S.; STUTHMAN, D. D.; MCGRAW, R. L.; BREGITZER, P. P. Physiological changes associated with three cycles of recurrent selection for grain yield improvement in oats. **Crop Science**, Madison, v.26, n.4, p.734-736, 1986.

PAULA, R. C.; PIRES, I. E.; BORGES, R. C. G.; CRUZ, D. C. Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.2, p.159-165, 2002.

PIRES, J. L. F.; LIMA, M. I. P. M.; VOSS, M.; SCHEEREN, P. L.; WIETHÖLTER, S.; CUNHA, G. R.; IGNACZAK, J. C.; CAIERÃO, E. **Avaliação de cultivares de trigo em sistema de manejo tradicional e otimizado, Passo Fundo, 2004**. Comunicado técnico da Embrapa. Dezembro, 2005. Passo Fundo, RS. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do54.pdf>. Acessoem: 20 set 2010.

RAJARAM, S. Prospects and promise of wheat breeding in the 21st century.E**uphytica**, Dordrecht, v.119, p.3-15, 2001.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. Melhoramento de espécies autógamas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p.201-230.

RANGEL, P. H. N.; MORAIS, O. P.; ZIMMERMANN, F. J. P. Grain yield in three recurrent selection cycles in the CAN-IRAT 4 irrigated rice population. **Crop Breeding and Applied Biotechnology,** Londrina, v.2, p.369-374, 2002.

RAWASHDEH, N. K.; HADDAD, N. I.; Al-AJLOUNI, M. M.; TURK, M. A. Phenotypic diversity of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) from Jordan. **Genetic Resources and Crop Evolution**, Dordrecht, v.54, p.129-138, 2007.

REYNOLDS, M. P.; PIERRE, C. S.; SAAD, A. S. I.; VARGAS, M.; CONDON A. G. 2007. Evaluating Potential Genetic Gains in Wheat Associated with Stress-Adaptive Trait Expression in Elite Genetic Resources under Drought and Heat Stress. **Crop Science**. 47, p.172-189.

RODRÍGUEZ, R. E. S.; RANGEL, P. H. N.; MORAIS, O. P. Estimativas de parâmetros genéticos e de respostas à seleção na população de arroz irrigado CNA 1. **PesquisaAgropecuáriaBrasileira**, Brasília, v.33, p.685-691, 1998.

SAKAMOTO, T.; MATSUOKA, M. Generating high-yielding varieties by genetic manipulation of plant architecture.**Current Opinion in Biotechnology**, v.15, p.144-147, 2004.

SILVA, M. S.; ANDRADE, J. M. V.; ALBRECHT, J. C.; SOBRINHO, J. S.; CANOVAS. No Brasil Central tambémdátrigo. **Cultivar**, Abril 2001, p.18-23.

SILVA, G. S.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; NUNES, J. A. R. Estimation of genetic progress after eight cycles of recurrent selection for common bean grain yield. Crop Breeding and Applied Biotechnology, v.10, P.351-356, 2010.

SLAFER, G. A.; ABELEDO, L. G.; MIRALLES, D. J.; GONZÁLEZ, F. G.; WHITECHURCH, E. M. Photoperiod sensitivity during stem elongation as an avenue to rise potential yield in wheat. **Euphytica**, v.119, p.191-197, 2001.

SLAFER, G. A.; SATORRE, E. H.; ANDRADE, F. H. Increases in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes. In: SLAFER, G. (Ed.). **Genetic improvement of field crops**. New York: M.Dekker, 1994. p.1-68.

SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection.**Annual Eugenics**, Cambridge, v.7, p. 240-250, 1936.

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

WAHID, A.; GELANI, S.; ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Heat tolerance in plants: An overview. **Environmental and Experimental Botany,** v.61, p.199-223, 2007.

WOLLENWEBER, B.; PORTER, J. R.; SCHELLBERG, J. Lack of interaction between extreme high temperature events at vegetative and reproductive growth stages in wheat.**Crop Science,** v.189, p.142–150, 2003.

ZANATTA, A. C. A.; OERLECKE, D. Efeitos de genes do nanismo sobre alguns caracteres agronômicos e morfológicos de *Triticumaestivum*(L.) thell. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v.26, n.7, p.1001-1016, 1991.

CAPÍTULO 1

PROGRESSO GENÉTICO APÓS TRÊS CICLOS DE SELEÇÃO RECORENTE PARA TOLERÂNCIA AO CALOR EM TRIGO

3.1 INTRODUÇÃO

A cultura do trigo é de fundamental importância no sistema de produção agrícola do centro-sul e sul do Brasil, sendo cultura economicamente viável no período de inverno. A maioria das cultivares disponíveis no mercado é considerada de boa qualidade industrial, sendo predominantemente da classe comercial trigo pão e da classe melhorador. O Brasil coloca-se entre os países que mais importam este cereal, tendo como desafio tornar a cultura competitiva frente aos demais países produtores, especialmente do Mercosul.

Esse desafio torna-se ainda maior porque o trigo, sendo a principal cultura de inverno do país, por muitos anos localizou-se predominantemente na zona de clima temperado, estendendo-se do Rio Grande do Sul até o sul do Paraná. Na década de 60 a cultura expandiu em todo estado do Paraná, parte de São Paulo e Mato Grosso do Sul. Na década de 70 o Paraná tornou-se o maior produtor de trigo do país e novas regiões foram incorporadas no processo de expansão da cultura, sobretudo em Minas Gerais e Goiás, em áreas de cerrados. A potencialidade do trigo no Brasil-Central tem se mostrado bastante promissora, com produtividades superiores a 7 000 kg ha^{-1}, em condições de cultivo comercial (Souza, 1999). No entanto, o clima dessa região é caracterizado por altas temperaturas, sendo essa a principal limitação da cultura. Adicionalmente, a concentração de CO_2 da atmosfera terrestre tem aumentado. Como resultado desse fenômeno, a temperatura média do ar da Terra poderá aumentar, em conseqüência do efeito estufa (Streck e Alberto, 2006).

O sucesso da cultura do trigo na região do Brasil-Central, de acordo com Souza e Ramalho (2001), depende da existência de cultivares tolerantes ao calor. Os programas de melhoramento genético do trigo terão que buscar alternativas que visem o aumento da produtividade de grãos em condições de estresse térmico.

A existência de variabilidade genética, quanto à tolerância ao calor em plantas de trigo, tem sido constatada em alguns trabalhos (Cargnin, 2005; Oliveira, 2008; Machado et al., 2010). Essa informação é o ponto de partida na busca de genótipos mais promissores.

Tolerância ao calor, assim como a maioria dos caracteres de importância para o melhoramento de plantas, possui distribuição contínua, ou seja, é controlada por vários genes que estão presentes em genitores diferentes.

O ideal é aumentar a freqüência de alelos para tolerância ao calor e alta produtividade de grãos no desenvolvimento de cultivares. Quando se trabalha com mais de um carácter, o processo de seleção torna-se mais difícil, sobretudo se o processo for realizado em apenas uma etapa ou ciclo de seleção. Nessa condição, a seleção recorrente é a principal alternativa no melhoramento.

A seleção recorrente é um método de melhoramento de população que proporciona o acúmulo de alelos favoráveis que controlem a expressão de caracteres (Wilcox, 1998). A maior parte dos conhecimentos sobre esse método foi gerada com a cultura do milho, uma espécie alógama. Atualmente, a seleção recorrente vem sendo utilizada tanto em espécies alógamas quanto em autógamas.

O que se espera é que a média do carácter avaliado na população melhore a cada ciclo. Para isso, a determinação do ganho genético com a seleção recorrente é primordial para orientar os futuros ciclos seletivos. No caso das plantas alógamas, isso é facilmente realizado utilizando as populações em equilíbrio dos diferentes ciclos seletivos, que foram armazenadas em câmara climatizadas. Nesse caso, a população permanece em equilíbrio após uma geração de intercruzamento. Em plantas autógamas, isso não é possível, pois, com a endogamia, a população não atinge o equilíbrio (Amaro, 2006).

No melhoramento de plantas autógamas têm sido empregadas outras metodologias de estimar o ganho genético. Uma delas compara as progênies de cada ciclo na mesma geração de endogamia e utiliza, nas avaliações das progênies, uma ou mais testemunhas comuns. Desse modo, o desempenho dessas testemunhas é o indicador da variação ambiental e o das progênies inclui a variação ambiental e genética (Corte et al., 2002).

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o progresso genético para produtividade de grãos após três ciclos de seleção recorrente em condições de estresse térmico provocado pelo calor.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Local

As famílias do ciclo 0 foram avaliadas na Estação Experimental de Coimbra, pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizado no município de Coimbra, estado de Minas Gerais, situado a 720 m, 20°45', latitude S e 42°51', longitude W Gr.

As famílias do primeiro e segundo ciclo foram avaliadas no campo experimental Prof. Diogo Alves de Melo, localizado no campus da UFV, em Viçosa-MG, situado a 648 metros de altitude, 20°45´14´´, latitude S e 42°52´54´´, longitude W Gr.

3.2.2 Obtenção da população base

Para dar início ao programa de seleção recorrente, oito genitores de trigo com diferentes níveis de tolerância ao calor (Tabela 1) foram intercruzados no esquema de dialelo circulante, conforme proposto por Bearzoti (1997). Nesta metodologia cada genitor ou família recombinante participa de dois cruzamentos, de modo que nos sucessivos intercruzamentos a contribuição de cada genitor é a mesma (Ramalho, 2005). Em todas as fases as hibridações foram realizadas em casa de vegetação, seguindo os procedimentos descritos por Federizziet al. (2005).

TABELA 1 Origem e caracterização quanto à reação ao calor dos oito genitores utilizados para iniciar o programa de seleção recorrente. Viçosa, MG.

Linhagem	Origem	Reação ao calor
Aliança	EPAMIG/UFV	Tolerante
Anahuac	CIMMYT	Tolerante
BH 1146	IAMG	Tolerante
BR 24	EMBRAPA Trigo	Tolerante
BRS 207	EMBRAPA Cerrados	Pouco tolerante
CPAC 9662	EMBRAPA Cerrados	Pouco tolerante
EP 93541	EPAMIG	Tolerante
UFVT 1- Pioneiro	UFV/EPAMIG	Média tolerância

QUADRO 1. Esquema de cruzamentos utilizado na obtenção das populações dos diferentes ciclos de seleção recorrente visando tolerância ao calor em trigo.

Populações do Ciclo 0	**Populações do Ciclo I**	**Populações do Ciclo II**
1- BH1146/BR24	1- BH1146/BR24//Aliança/EP93541	1-BH1146/BR24//Aliança/EP93541/3/ CPAC9662/Pioneiro//BRS207/Anahuac
2- BR24/Aliança	2- BR24/Aliança//EP93541/CPAC9662	
3- Aliança/EP93541	3- Aliança/EP93541//CPAC9662/Pioneiro	2-BR24/Aliança//EP93541/CPAC9662/3/ Pioneiro/BRS207//Anahuac/BH1146
4- EP93541/CPAC9662	4- EP93541/CPAC9662//Pioneiro/BRS207	
5- CPAC9662/Pioneiro	5- CPAC9662/Pioneiro//BRS207/Anahuac	3-Aliança/EP93541//CPAC9662/Pioneiro /3/BRS207/Anahuac//BH1146/BR24
6- Pioneiro/BRS207	6- Pioneiro/BRS207//Anahuac/BH1146	
7- BRS207/Anahuac	7- BRS207/Anahuac//BH1146/BR24	4-EP93541/CPAC9662//Pioneiro/BRS207 /3/Anahuac/BH1146//BR24/Aliança
8- Anahuac/BH1146	8- Anahuac/BH1146//BR24/Aliança	

Assim, em cada intercruzamento foram geradas oito populações híbridas. De cada uma delas foi obtida separadamente as sementes das gerações F_1 e F_2 e geradas as famílias $F_{2:3}$ em cada população segregante. Essas famílias foram avaliadas nas gerações $F_{2:3}$ e $F_{2:4}$. A melhor família, por população, foi recombinada para obter o ciclo I. Nesse caso, a recombinação da melhor família $S_{0:2}$ foi novamente efetuada utilizando-se um dialelo circulante, em que cada família foi cruzada com duas outras, com o cuidado de não envolver famílias oriundas dos mesmos genitores da etapa anterior. O mesmo procedimento foi repetido no ciclo II, com a diferença que os cruzamentos recíprocos foram reunidos (Quadro 1).

3.2.3 Avaliação das progênies (famílias)

As informações referentes ao ciclo 0 e I, ou seja as médias das famílias $S_{0:2}$, foram obtidos dos trabalhos de Cargnin (2005) e Oliveira (2008) que desenvolveram o ciclo 0 e I, respectivamente.

As populações foram avaliadas na época de estresse térmico, com as semeaduras em janeiro de 2004, fevereiro de 2007 e abril de 2010. No ciclo 0 e I foram utilizadas 30 progênies por cada população, totalizando 240 famílias em cada ciclo. No ciclo II foram avaliadas 103 famílias.

No ciclo II, foi realizada a seleção das progênies mais promissoras na geração S_0. Para isso, as plantas foram cultivadas em campo, com semeadura em fevereiro de 2009, seguindo as recomendações técnicas da cultura (Comissão..., 2009). As sementes foram plantadas com espaçamento de 20 cm entre linhas e 10 cm entre as plantas, permitindo dessa forma a seleção individual de plantas. Nessa geração fez-se a seleção de 31 famílias dentro de cada população, totalizando 124 famílias.

As sementes das 31 famílias $S_{0:1}$ de cada população foram cultivadas em condições de inverno, com semeadura em junho de 2009. A avaliação das famílias $S_{0:2}$, em condição de estresse de calor, foi realizada em 2010, com semeadura no mês de abril, onde foram utilizadas 21 famílias da população 1, 31 famílias da população 2, 30 famílias da população 3 e 21 famílias da população 4. Foi utilizado o delineamento látice quadrado 11 x 11, com três repetições. Para completar o látice e para calcular o progresso com a seleção, foram utilizados os oito genitores iniciais (testemunhas), as oito famílias selecionadas no ciclo Ie duas cultivares comerciais, totalizando 121 tratamentos. Cada parcela foi constituída de três linhas de 1,0 m de comprimento, com espaçamento entre linhas de 20 cm. Os experimentos nos três ciclos de seleção recorrente foram submetidos aos mesmos tratos culturais, seguindo às recomendações e práticas de cultivo de uma lavoura irrigada.

No ciclo II foram aplicados 300 kg ha^{-1}da fórmula 08-28-16 no sulco de semeadura e, posteriormente, no início do perfilhamento foi realizada a adubação de cobertura com nitrogênio na dose de 80 kg ha^{-1}, sob a forma de sulfato de amônio. O controle de plantas daninhas foi feito pela aplicação do herbicida Ally® aos 15 dias após a semeadura do trigo, na dose de 5 g ha^{-1} do produto comercial. O controle fitossanitário foi realizado com duas aplicações do fungicida Ópera® na dose de 0,75 L ha^{-1} do produto comercial, sendo a primeira realizada quando as plantas estavam no estádio de emborrachamento, entre os estádios 8 e 9 da escala de Feeks e Large, e a segunda logo após o espigamento, cerca de 20 dias após a primeira. A irrigação foi realizada por aspersão convencional e o turno de rega foi estabelecido de acordo com a umidade do solo e o estádio de desenvolvimento das plantas.

As famílias segregantes foram avaliadas quanto aprodutividade de grãos**,**determinado por meio do peso total de grãos obtida em cada parcela.

3.2.4 Análises genético-estatísticas

As observações relativas à produtividade de grãos (kg ha^{-1}) das famílias, em cada ciclo, foram submetidas à análise de variância, considerando todos os efeitos do modelo como aleatório, exceto a média, conforme o modelo estatístico:

$Y_{ijk} = \mu+g_i+r_j+(b/r)_{jk}+e_{ijk}$, em que:

Y_{ijk}é o valor observado do genótipo i no bloco k, dentro da repetição j; μ é a média geral do experimento; g_ié o efeito do genótipo i (i = 1, 2, ..., 256 nos dois primeiros ciclos e i = 1, 2,

..., 121 no último ciclo); r_jé o efeito da repetição j (j = 1, 2 nos dois primeiros ciclos e j = 1, 2, 3 no último ciclo); $(b/r)_{jk}$é o efeito do bloco k dentro da repetição j (k = 1, 2,..., 16 nos dois primeiros ciclos e k = 1, 2,..., 11 no último ciclo); e_{ijk}é o erro efetivo,e_{ijk}~ NID (0, σ^2).

As análises estatísticas foram realizadas nos software MSTAT (1991) e GENES (Cruz, 2006).

Foram estimadas a variância genética (σ_G^2) a variância fenotípica (σ_P^2) e a herdadilidade no sentido amplo (h^2), obtidas na avaliação da geração $S_{0:2}$ de cada ciclo de seleção recorrente, pelos seguintes estimadores:

$\hat{\sigma}_G^2 = (Q_1 - Q_2)/r$; $\hat{\sigma}_P^2 = Q_1/r$; $\hat{h}_{\%}^2 = \left[\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}\right] * 100$, em que: Q_1 é quadrado médio de progênies (famílias); Q_2 é o quadrado médio do erro; r é o número de repetições.

Foram determinados os intervalos de confiança para as estimativas da herdabilidade, pela obtenção dos limites inferiores (LI) e superiores (LS) das estimativas de h^2, de acordo com as expressões apresentadas por Knapp et al. (1985).

Os intervalos de confiança (IC) associados às estimativas da variância genética e da herdabilidade, foram estimados a partir da expressão apresentada por Ramalho et al. (2005).

Foi estimado o progresso genético para produtividade de grãos por meio das médias das famílias da geração $S_{0:2}$ dos ciclos 0 ao ciclo II, utilizando-se metodologia semelhante à empregada por Ramalho et al. (2005).

Inicialmente foi obtido o desvio genético entre a média de produtividade das testemunhas, BH 1146 e BR 24, visando atenuar o efeito ambiental, uma vez que as famílias de cada ciclo foram avaliadas em anos diferentes e a média das famílias $S_{0:2}$ selecionadas de cada ciclo de seleção recorrente. Tais testemunhas foram escolhidas por apresentarem boa produtividade de grãos e tolerância ao calor.

Posteriormente, foi obtida a equação de regressão linear entre o número de ciclos, variável independente (x), e o desvio genético, variável dependente (y). O progresso genético porcentual foi obtido pelo seguinte estimador:

$PG_{\%} = (b/\overline{X}_{C0}) * 100$, em que: $PG_{\%}$ é o progresso genético percentual por ciclo de seleção recorrente em relação às progênies $F_{2:4}$ do ciclo 0; b é o coeficiente de regressão linear; $\overline{X}_{C0}$ é a média das progênies $F_{2:4}$ do ciclo 0.

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Análise de variância

Constatou-se diferença significativa ($p \leq 0,01$) entre as populações para produtividade de grãos (Tabela 3). O coeficiente de variação ($CV_{\%}$=13,67) encontra-se dentro de níveis de boa precisão experimental. A eficiência proporcionada pelo uso do delineamento em látice foi de 26,96%, o que confirma a maior eficiência deste delineamento em relação ao de blocos casualizados na situação deste trabalho.

O desdobramento de famílias dentro de cada população, que reflete o grau de variabilidade genética dentro das populações, apresentou significância para a maioria das famílias nas diferentes populações. Isso evidencia a existência de variabilidade genética entre as famílias, condição essa favorável para o sucesso com a seleção recorrente.

O contraste famílias *versus* testemunhas apresentou significância ($p \leq 0,01$), indicando haver diferenças entre estas fontes de variação.

TABELA 3 Resumo da análise de variância da produtividade (kg ha^{-1}) de grãos de trigo obtida na avaliação de famílias na geração $S_{0:2}$ do ciclo II de recombinação de seleção recorrente. Viçosa, MG, 2010.

FV	GL	QM	Prob
Tratamentos	120	951083,12	0,000
Famílias	102	1004845,28	0,000
Fam / Pop 1	20	615719,02	0,000
Fam / Pop 2	30	955701,15	0,000
Fam / Pop 3	29	917438,14	0,000
Fam / Pop 4	20	806885,85	0,000
Entre Pop	3	7331297,84	0,000
Testemunhas	17	471352,27	0,012
Fam *vs* Test	1	3622768,50	0,000
Erro Efetivo	210	234599,41	
Média Famílias		3500,96	
Média Testemunhas		3781,70	
$CV_{(\%)}$		13,67	
Eficiência do Látice (%)		26,96	

3.3.2 Produtividade de grãos

A produtividade de grãos média das famílias $S_{0:2}$ do ciclo II foi superior à média das famílias dos ciclos anteriores (Tabela 4). Chama a atenção, a produtividade média das testemunhas, que foi semelhante à média geral das populações. No entanto, quando foram

consideradas 20% das melhores famílias de cada ciclo de seleção, a média de rendimento destas foi maior que a média das testemunhas nos três ciclos (Tabela 4).

TABELA 4 Médias de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de famílias $S_{0:2}$ e das testemunhas em três ciclos de seleção recorrente em trigo visando tolerância ao calor. Viçosa, MG.

100% famílias			
Média	**Ciclo 0**	**Ciclo I**	**Ciclo I**
Populações	1658 a[1/]	1753 a	3501 a
Testemunhas	1475 b	1798 a	3782 b
20% famílias			
Média	**Ciclo 0**	**Ciclo I**	**Ciclo II**
Populações	2215 a	2518 a	4342 a
Testemunhas	1475 b	1798 b	3782 b

[1/]Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si. Teste t ($p \leq 0,05$).

No ciclo II de recombinação, a temperatura média durante os estádios da cultura foi inferior aos ciclos anteriores (Tabela 5). Como a planta de trigo expressa tolerância ao calor de forma diversificada durante o seu ciclo, a temperatura mais amena na fase de enchimento de grãos certamente favoreceu a produtividade de grãos.

TABELA 5 Médias das temperaturas (°C) médias, máximas e mínimas registradas na estação meteorológica de Viçosa-MG, nos anos de 2004 (Ciclo 0), 2007 (Ciclo I) e 2010 (Ciclo II), nos diferentes estádios de desenvolvimento médio das plantas de trigo. Viçosa, MG.

Ciclo 0			
	Temperatura (°C)		
Estádio de Desenvolvimento	**Média**	**Máxima**	**Mínima**
Emergência / Perfilhamento	22,1	27,5	19,0
Perfilhamento / Florescimento	21,7	27,6	18,3
Florescimento / Maturação	21,2	27,2	17,7
Todo Ciclo	21,7	27,4	18,3
Ciclo I			
	Temperatura (°C)		
Estádio de Desenvolvimento	**Média**	**Máxima**	**Mínima**
Emergência / Perfilhamento	22,3	29,7	17,6
Perfilhamento / Florescimento	22,4	29,6	18,1
Florescimento / Maturação	18,7	26,0	14,2
Todo Ciclo	21,1	28,4	16,6

"...continua..."

“TABELA 5, Cont.”

Ciclo II			
	Temperatura (°C)		
Estádio de Desenvolvimento	**Média**	**Máxima**	**Mínima**
Emergência / Perfilhamento	22,3	28,4	16,2
Perfilhamento / Florescimento	19,4	24,6	14,1
Florescimento / Maturação	17,8	24,6	11,1
Todo Ciclo	19,8	25,9	13,8

3.3.3 Estimativas de parâmetros genéticos

A existência de variação entre as famílias de modo a permitir sucesso com a seleção pode ser confirmada por meio das estimativas da herdabilidade($\hat{h}^2_{\%}$). Em todos os ciclos, a $\hat{h}^2_{\%}$ foi diferente de zero, para produtividade de grãos, pois, o limite inferior, com 95% de probabilidade, foi positivo (Tabela 6).

As estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos também evidenciaram a existência de variação entre as famílias. Em todas as situações a $\hat{\sigma}^2_G$ foi diferente de zero (Tabela 6).

TABELA 6 Estimativas da variância genética ($\hat{\sigma}^2_G$), variância fenotípica ($\hat{\sigma}^2_P$) entre médias das famílias e herdabilidade no sentido amplo ($\hat{h}^2_{\%}$), com seus respectivos limites inferiores (LI) e superiores (LS) referentes às famílias dos três ciclos de seleção recorrente para produtividade de grãos em trigo (kg ha^{-1}). Viçosa, MG.

Estimativa	Ciclo 0	Ciclo I	Ciclo II
$\hat{\sigma}^2_G$	115956,80	172331,40	256 748,62
LI	94984,54	130128,94	183 991,00
LS	144772,45	239112,69	383 369,58
$\hat{\sigma}^2_P$	134462,00	271222,27	334 948,43
$\hat{h}^2_{\%}$	86,23	63,53	76,65
LI	82,18	52,77	67,65
LS	89,36	71,82	83,48

3.3.4 Progresso genético

As estimativas do progresso genético para tolerância ao calor foram obtidas utilizando o desempenho das melhores linhagens de cada ciclo (20%). Visando atenuar o efeito ambiental, os dados foram ajustados em relação à média de duas testemunhas

tolerantes ao calor, BH 1146 e BR 24. Como essas testemunhas foram comuns a todas as avaliações, as flutuações do desempenho nos diferentes ciclos são apenas ambientais. Enquanto nas famílias, pelas razões já mencionadas, há o efeito do genótipo e do ambiente.

A equação de regressão linear entre o número de ciclos de seleção, variável independente (*x*), e a média do carácter sob seleção, como variável dependente (*y*), está exibida na Figura 1. Observa-se tendência de aumento da produtividade de grãos com maior número de ciclos de seleção e recombinação, uma vez que a estimativa de b_1 foi positiva e diferente de zero.

Tal demonstração indica que existe diferença entre a média das famílias e a média das testemunhas. Tal fato se acentuou com o decorrer dos ciclos, ou seja, o nível de tolerância ao calor aumentou com a seleção, visto que a produtividade aumentou.

O coeficiente de regressão entre a variável independente, número de ciclos, e a variável dependente, média dos ciclos, foi de b_1= 139,6 (Figura 1). Isso indica que, tomando como referência a média das famílias $F_{2:4}$ do ciclo 0 (1 658 Kg ha^{-1}), o ganho com a seleção foi de 8,4%.

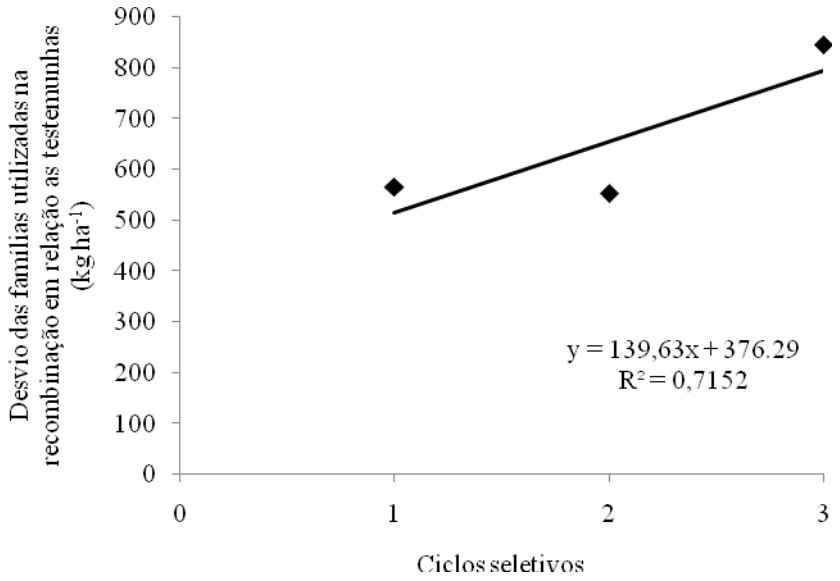

FIGURA 1. Ciclo seletivo (*x*) e o desvio das famílias utilizadas na recombinação em relação às testemunhas (*y*), após três ciclos de seleção recorrente [$b \neq 0$ ($P \leq 0,01$)].

3.4 DISCUSSÃO

Estresses de calor e seca são considerados os principais causadores de reduções na produção de trigo em todo o mundo. Em muitos casos, esses dois estresses são confundidos por atuarem juntos. Alguns tipos de estresses como a seca, acidez do solo e deficiências nutricionais, podem ser controlados com medidas de manejo, como a própria irrigação. Por outro lado, a única forma de romper os obstáculos impostos pelo estresse de altas temperaturas é o desenvolvimento de cultivares tolerantes.

Em um programa de melhoramento utilizando a seleção recorrente, a obtenção da população base é primordial para se ter sucesso a curto, médio e longo prazo. Nesse caso, como a ênfase foi na obtenção de plantas produtivas em ambientes com estresse ao calor, a população base foi obtida a partir do intercruzamento de oito genitores, com diferentes níveis de tolerância ao calor.

Os cruzamentos foram direcionados de forma a permitir a associação da boa tolerância ao calor de um genitor com outro carácter agronômico favorável à cultura em uma única progênie. Com relação à produtividade, alguns dos genitores já foram ou são atualmente recomendados aos agricultores e, portanto, apresentam boa produtividade.

O segundo ponto na seleção recorrente é utilizar estratégias que possibilitem a identificação mais precisa possível dos indivíduos e ou famílias a serem recombinados. No presente caso, a seleção das melhores famílias foi realizada a partir de experimentos conduzidos com as gerações $S_{0:2}$. Houve a preocupação com os valores dos coeficientes de variação e com o melhor delineamento a ser adotado.

Deficiências hídricas devem ser consideradas quando da condução de experimentos para avaliação de tolerância ao calor, pois estas, em combinação com altas temperaturas podem ser extremamente danosas à cultura do trigo (Shah e Paulsen, 2003).

A tolerância ao calor em trigo, como já mencionado, é uma característica quantitativa, controlada por muitos genes. A probabilidade de se associar em um indivíduo todos os alelos favoráveis é muito pequena. Nessa condição, a chance de sucesso aumenta com o número de famílias avaliadas.

O sucesso de qualquer processo seletivo e, especialmente, da seleção recorrente é dependente da existência de variabilidade na população base. Neste trabalho, a variação para produtividade de grãos ficou evidenciada em várias oportunidades. A primeira delas

foi por meio da diferença significativa ($p \leq 0,01$) entre as famílias, na maioria das situações (Tabela 3). A variabilidade entre as famílias também foi confirmada pelas estimativas da herdabilidade ($\hat{h}^2$) que, em todos os experimentos, foi diferente de zero ($p \leq 0,01$).

A $\hat{h}^2$ para produtividade de grãos variou de 63,5% a 86,2%. Como a dominância para essa carácter não é expressiva (Moreto, 2005), infere-se que grande parte da variância presente no numerador da h^2 deve ser aditiva.Considerando os diferentes ciclos, verifica-se que as $\hat{h}^2$ foram relativamente superiores às obtidas para esse carácter em outros experimentos (Wiersma et al., 2001).

Entretanto, a comparação das estimativas de herdabilidade nem sempre é válida porque ela depende da população considerada, das condições ambientais, do número de progênies, da geração, do tamanho da parcela, da precisão experimental, entre outros (Cordeiro, 2001). Nesse trabalho, os valores razoavelmente altos das estimativas de herdabilidade se devem também à boa precisão experimental e pela existência de variância genética.

Para produtividade de grãos, a existência de variabilidade já era esperada, uma vez que os genitores envolvidos são de várias origens e com diferente potencial produtivo. Vale salientar que ocorreram diferenças nas estimativas dos parâmetros de variabilidade comparando o primeiro e o último ciclo seletivo (Tabela 4). Isso indica que ela foi sendo liberada a cada ciclo de recombinação e, sobretudo, que ainda há variabilidade suficiente para se continuar obtendo ganhos.

Além da variância, a média é um dos parâmetros genéticos principais a ser considerado no melhoramento populacional. Para um programa de seleção recorrente ser eficiente é preciso associar média alta no carácter em questão, no caso, alta produtividade de grãos. Porém, a partir do segundo ciclo de seleção recorrente, a média das testemunhas foi superior à média das famílias avaliadas. Essa menor média pode ser em razão da alta variabilidade entre e dentro de famílias. Entretanto, quando foram consideradas as melhores famílias de cada ciclo de seleção (20%), a média de rendimento destas foi maior que a média da testemunha nos três ciclos, demonstrando o potencial genético da população para extração de linhagens de alto rendimento. Tal fato também foi observado por Rangel et al. (2002), que desenvolveu um estudo semelhante com arroz.

O estresse provocado pelas altas temperaturas pode ser medido pela porcentagem de redução da produção de grãos (%R) na época de semeadura de verão, comparada com a de

inverno. O que se busca são genótipos com baixa %R, associados com médias de produção alta, ou seja, tolerantes e responsivos. Essa avaliação foi feita por Cargnin (2005) e Oliveira (2008), com as famílias dos ciclos 0 e I, respectivamente. Foi constatado que no verão, a produção apresentou redução de até 46,5%. Um questionamento que pode ser feito diz respeito ao efeito do fotoperíodo sobre o comportamento dos genótipos, uma vez que na semeadura de verão (fevereiro) o comprimento do dia é maior do que na semeadura de inverno (maio). No entanto, observou-se que o desenvolvimento das plantas não foi influenciado pelo fotoperíodo, mas sim pela soma térmica. Souza e Ramalho (2001) também não constataram influência de fotoperíodo sob plantas de trigo. Segundo Rodrigues (2000), as cultivares de trigo no País apresentam pouca ou nenhuma resposta ao fotoperíodo sendo os processos de desenvolvimento das plantas controlados, principalmente, pela temperatura.

Uma das grandes contribuições da genética quantitativa é a predição de ganho a ser obtido por uma estratégia de seleção a ser aplicada em uma população, para um determinado carácter. Uma vez estimado o ganho a ser obtido por seleção, o melhorista poderá avaliar a eficácia da estratégia adotada, promovendo modificações quando for necessário (Cruz et al., 2004).

Em um programa de seleção recorrente, é indispensável periodicamente avaliar a eficiência do processo. Assim, é necessário estimar o progresso genético obtido. No caso de plantas autógamas, várias estratégias têm sido utilizadas para se estimar o progresso genético, uma das mais utilizadas é a comparação do desempenho das progênies.

Um ponto a ser abordado é sobre a população usada como referência para realizar a estimativa de ganho com a seleção. Considerando que o objetivo final da seleção recorrente é obter linhagens que supere as cultivares recomendadas, uma opção, que seria mais viável, é a comparação das famílias com as testemunhas utilizadas no experimento. Essa estratégia é a que foi empregada nesse trabalho.

As cultivares utilizadas como testemunhas, BH 1146 e BR 24, foram, por muito tempo, recomendadas para o cultivo no estado de Minas Gerais. Além disso, possuem tolerância ao calor. Essas testemunhas também foram utilizadas como medida do efeito ambiental, pois os ciclos foram obtidos em anos diferentes. Em trabalhos realizados em Lavras (MG) com a cultura do feijão, para estimar o progresso genético, Amaro (2006) e

Menezes Júnior (2008) também utilizaram o desempenho de testemunhas como medida do efeito ambiental.

Em feijão, as estimativas do progresso genético para produtividade de grãos podem variar de 2,1% (Amaro, 2006) a 55% (Ranalli, 1996). Em soja, essas estimativas podem ser de 4,2% (Burton et al., 1990) a 5,2% (Kenworthy e Brim, 1979). Em trabalhos desenvolvidos com a cultura do trigo, a seleção recorrente tem trazido resultados satisfatórios, onde as estimativas de ganhos variaram de 0,94% (Moya et al., 2002) a 15% (Maich et al., 2000).

No trabalho de Machado et al. (2010), foi verificado um indicativo do progresso genético em populações segregantes de trigo visando a tolerância ao calor. A existência de variabilidade genética entre as famílias no segundo ciclo seletivo, para três caracteres avaliados, evidenciou a possibilidade de se obter sucesso com a seleção nos ciclos seguintes.

No presente trabalho, o ganho genético obtido em relação às testemunhas para a produtividade de grãos foi de 8,4% do primeiro ao terceiro ciclo de seleção recorrente. Esse valor, como dito anteriormente, é de magnitude comparável à de outros trabalhos.

Dessa forma, foi possível verificar que o programa de seleção recorrente para tolerância ao calor em trigo está trazendo resultados satisfatórios. Como ainda existe variabilidade nas populações, um novo ciclo poderá ser iniciado, na tentativa de acumular mais alelos favoráveis dentro das famílias. Outra possibilidade é a inserção de um ou mais genitores com caracteres desejáveis e assim aumentar a variabilidade a ser explorada.

3.5 CONCLUSÕES

Após três ciclos de seleção recorrente, o progresso genético para produtividade de grãos foi de 8,4%.

A existência de variabilidade genética entre as famílias, especialmente no último ciclo, evidencia a possibilidade de continuar obtendo sucesso com a seleção nos ciclos seguintes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARO, G. B**. Seleção recorrente fenotípica no feijoeiro visando a resistência a *Phaeoisariopsisgriseola***. 2006. 90 p. Tese (Doutorado em genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

BEARZOTI, E. **Simulação de seleção recorrente assistida por marcadores moleculares em espécies autógamas**. Piracicaba: Esalq; 1997. 230p. (Tese – Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas), 1997.

BURTON, J. W.; KOINANGE, E. M. K.; BRIM, C. A. Recurrent selfed progeny selection for yield in soybean using genetic male sterility. **Crop Science,** Madison, v.30, n.6, p.1222-1226, 1990.

CARGNIN, A. **Reação de genitores e populações segregantes de trigo ao estresse de calor.** 2005. 64p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa,Viçosa, 2005.

Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. **Informações técnicas para a cultura de trigo e triticale: safra 2009**. Passo Fundo, RS. Embrapa Trigo: Embrapa Transferência de Tecnologia, 2008. 172p.

CORDEIRO, A. C. C. **Número de intercruzamentos na eficiência da seleção recorrente na cultura do arroz.** 2001. 149p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CORTE, H. R.; RAMALHO, M. A. P.; AVELAR, F. M. G., Natural selection for grain yield in dry bean populations bred by the bulk method. **Euphytica**, Wageningen, v.123, n.3, p.387-393, 2002.

CRUZ, C. D.**Programa Genes: Estatística Experimental e Matrizes**. Editora UFV. Viçosa (MG). 285p. 2006.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. Viçosa: Editora UFV, 2004. v.2, v.1. 480p.

FEDERIZZI, L. C.; SCHEEREN, P. L.; BARBOSA NETO, J. F.; MILACH, S. C. K.; PACHECO, M. T. 2005. Melhoramento do trigo. In: Borem, A. (Ed). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. p.659- 697.

KENWORTHY, W. J.; BRIM, C. A. Recurrent selection in soybeans. I. Seed yield. **Crop Science,** Madison, v.19, n.3, p.315-318, 1979.

KNAPP, S. J.; STROUP, W. W.; ROSS, W. M. Exact confidence intervals for heritability on a progeny mean basis.**Crop Science,** Madison, v.25, n.1, p.192-194, 1985.

MACHADO, J. C.; SOUZA, M. A.; OLIVEIRA, D. M.; CARGNIN, A.; PIMENTEL, A. J. B.; ASSIS, J. C. Recurrent selection as breeding strategy for heat tolerance in wheat.**Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, p.9-15, 2010.

MAICH, R. H.; GAIDO, Z. A.; MANERA, G. A.; DUBOIS, M. E. Two cycles of recurrent selection for grain yield in bread wheat. Directeffectandcorrelated responses. **Agriscientia**, v.17, p.35-39, 2000.

MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Seleção recorrente para três caracteres do feijoeiro. **Bragantia,**v.67, n.4, p.833-838, 2008.

MSTAT-C.**A software program for the design, management and analysis of agronomic research experiments.**[S.1]: Michigan StateUniversity, 1991. p. ir.

MORETO, A. L. **Estimação dos componentes da variância fenotípica em feijoeiro utilizando método genealógico.** 2005. 76p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MOYA, E. S.; MIR, H. E. V.; GALAN, J. D. M.; RANGEL, E. E.; SANTANA, T. C.; GARZA, A. M. Selecciónmasal visual recurrente para rendimiento de grano en una poblaciónandroestéril de trigo harinero. **Agrosciencia,** Córboda, v.36, p.191-200, 2002.

OLIVEIRA, D. M. **Seleção em populações de trigo visando tolerância ao estresse de calor.** 2008. 60p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B.; SANTOS, J.B. Melhoramento de espécies autógamas. In: NASS, L.L.; VALOIS, A.C.C.; MELO, I.S.; VALADARES-INGLIS, M.C. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p.201-230.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA, 2005b. 322p.

RANALLI, P. Phenotypic recurrent selection in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) based on performance of S2 progenies. **Euphytica**, Wageningen, v.87, n.2, p.127-132, 1996.

RANGEL, P. H. N.; MORAIS, O. P.; ZIMMERMANN, F. J. P. Grain yield in three recurrent selection cycles in the CAN-IRAT 4 irrigated rice population. **CropBreedingandAppliedBiotechnology,** Londrina, v.2, p.369-374, 2002.

RODRIGUES, O. Manejo de trigo: bases ecofisiológicas. In: CUNHA, G. R.; BACALTCHUK, B. (Org). **Tecnologia para produzir trigo no Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Assembléia Legislativa. Comissão de Agricultura Pecuária e Cooperativismo / Passo Fundo : Embrapa Trigo, 2000. 404p. (SérieCulturas, n. 02).

SHAH, N. H.; PAULSEN, G. M. Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain-filling of wheat.**PlantandSoil**, v.257, p.219-226, 2003.

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

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**, Brasília,v.36, n.10, p.1245-1253, 2001.

STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho. **PesquisaAgropecuáriaBrasileira**, Brasília, v.41, n.9, p.1351-1359, 2006.

WIERSMA, J. J.; BUSCH, R. H.; FULCHER, B. G. G.; HARELAND, G. A. Recurrent selection for kernel weight in spring wheat. **Crop Science,** Madison, v.41, n.4, p.999-1005, 2001.

WILCOX, J. R. Increasing seed protein in soybean with eight cycles of recurrent selection.**Crop Science**, Madison, v.38, n.6, p.1536-1540, 1998.

CAPÍTULO 2

ESTRATÉGIAS DE SELEÇÃO E PREDIÇÃO DE GANHOS GENÉTICOS EM TRIGO PARA TOLERÂNCIA AO CALOR

4.1 INTRODUÇÃO

Os programas de melhoramento genético de trigo (*Triticum aestivum* L.), em diferentes instituições de pesquisa, têm como principal objetivo a obtenção de novas cultivares que reúnam o máximo possível de fenótipos favoráveis e sejam adaptadas a um determinada região ecológica. Esses fenótipos incluem: elevado potencial produtivo, alta densidade de grãos, resistência ao acamamento e às doenças. Atualmente, devido às mudanças climáticas, os estresses abióticos têm sido considerados no desenvolvimento de novas cultivares de trigo, principalmente, a tolerância ao calor (Reynolds et al., 2001).

Ganhos genéticos em produtividade de grãos em trigo têm sido obtidos desde a época da revolução verde, graças aos programas de melhoramento genético (Cargnin et al., 2009). No entanto, dada a grande demanda por farinha de trigo no Brasil, o país não é auto-suficiente na produção desse cereal. Das 10 milhões de toneladas de trigo demandadas anualmente, apenas 5 milhões são produzidas pelos agricultores nacionais (IBGE, 2010).

Deste modo, o desenvolvimento de cultivares de trigo produtivas e tolerantes ao calor torna-se fundamental para a triticultura nacional, pois permitirá a exploração de novas áreas, principalmente, a região Centro-Brasileira. A expansão do cultivo do trigo, de sequeiro ou irrigado, para essa região do cerrado brasileiro apresenta- se como uma boa opção, pois essa é a primeira região a ser colhida no Brasil, o que pode garantir ao produtor melhor renda (Silva et al., 2001).

Os estudos do controle genético da tolerância ao calor têm sido concentrados na fase da planta adulta, principalmente, no período de enchimento de grãos. Entretanto, a planta de trigo responde ao estresse térmico em todas as fases de desenvolvimento. Essas são mudanças morfo-anatômicas e fenológicas, resposta fisiológica nas relações hídricas, no acúmulo de osmólitos e na termo-estabilidade das membranas, na formação de metabólitos secundários e antioxidantes, além de mudanças hormonais (Wahid et al., 2007).

Vários caracteres morfológicos e fisiológicos são utilizados para mensurar os efeitos do calor sobre a planta de trigo, as quais por sua vez estão diretamente associadas aos

componentes da produção, tal como índice de colheita, pesode grãos, altura de plantas e tamanho da espiga (Maich et al., 2000). A fisiologia é uma área do conhecimento indispensável para auxiliar os melhorista de plantas na seleção de novas cultivares de trigo, principalmente, para tolerância a calor (Reynolds et al., 2001).

A estimação dos ganhos de seleção permite ao melhorista escolher a melhor estratégia de seleção, predizer o sucesso do esquema seletivo adotado e decidir, qual metodologia utilizar. Os ganhos por seleção podem ser classificados de três diferentes formas: resposta direta à seleção, onde o ganho é predito na própria variável que está sendo avaliada; resposta indireta à seleção ou resposta correlacionada, onde a seleção é realizada em um carácter para obter ganhos em outro e a seleção simultânea de caracteres ou índice de seleção, onde se pratica a seleção em mais de um carácter de forma a se obter ganhos simultâneos em todos eles (Cruz et al., 2004).

Na seleção para vários caracteres existem algumas alternativas: a seleção em tandem, em que se seleciona primeiro para um dos caracteres, posteriormente para os demais em sequência; níveis independentes de eliminação em que é estabelecido um nível mínimo aceitável para cada carácter e são escolhidas as linhagens que atingem esse valor para todos os caracteres e o índice de seleção, que permite combinar em um único valor as múltiplas informações obtidas para os diferentes caracteres (Falconer e Mackay, 1996; Bernardo, 2002). Pelos resultados de vários trabalhos em diferentes espécies, há evidências de que o índice de seleção é uma boa alternativa quando o interesse é na seleção de mais de um carácter (Barbosa e Pinto, 1998; Granate et al., 2002; Gonçalves et al., 2007; Santos et al., 2007; Mendes et al., 2009; Reis, 2010).

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi predizer os ganhos genéticos em trigo para tolerância a calor por meio de diferentes estratégias de seleção.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no campo experimental Prof. Diogo Alves de Melo, campus UFV, município de Viçosa, estado de Minas Gerais, situado a 648 metros de altitude, 20°45´14´´, latitude S e 42°52´54´´, longitude W Gr.

No início do programa de seleção recorrente, oito linhagens de trigo com diferentes níveis de tolerância ao calor foram intercruzadas no esquema de dialelo circulante. No ciclo II de recombinação, na geração S_0, foi realizada a seleção das progênies mais promissoras. Para isso, as plantas foram cultivadas em campo, sob condições de verão (plantio em fevereiro de 2009), seguindo as recomendações técnicas da cultura (Comissão..., 2009). As sementes foram semeadas no espaçamento de 20 cm entre linhas e 10 cm entre as plantas, permitindo dessa forma a seleção individual de plantas. Nessa geração fez-se a seleção de 31 plantas dentro de cada população, totalizando 124 famílias.

As sementes das 31 famílias $S_{0:1}$ de cada população foram avançadas até a $S_{0:2}$, com a semeadura em maio de 2009, época de inverno. Dando continuidade ao trabalho foram utilizadas 21 famílias da população 1, 31 famílias da população 2, 30 famílias da população 3 e 21 famílias da população 4, totalizando 103 progênies. A semeadura foi realizada manualmente no mês de abril de 2010.

Foi utilizado o delineamento látice quadrado 11 x 11, com três repetições. Para completar o látice foram utilizados os oito genitores iniciais (testemunhas), as oito famílias selecionadas no ciclo Ie duas cultivares comerciais. Cada parcela foi constituída de três linhas de 1,0 m de comprimento, com espaçamento entre linhas de 20 cm.

As famílias foram avaliadas quanto aos seguintes caracteres agronômicos:

Altura de plantas: obtida da média aritmética de cinco plantas/parcela tomadas ao acaso e medindo-se desde o nível do solo até o ápice da espiga, excluindo as aristas, no estágio de maturação fisiológicas dos grãos.

Produtividade de grãos: determinado por meio do peso total de grãos obtida em cada parcela, determinada em balança eletrônica e convertido em kg ha^{-1}.

Peso de mil grãos: obtida após a limpeza e secagem dos grãos ao sol, até atingirem a umidade de 13%.

Número de espigas: determinado pela contagem do número de espigas na parcela.

Peso de grãos por espiga: determinada a partir da média aritmética das pesagens de grãos de dez espigas amostradas aleatoriamente na área útil de cada parcela, por ocasião da colheita.

Índice de colheita: obtido por meio da relação entre o peso de grãos (umidade 13%) e opeso da parte aérea da planta seca.

As observações relativas a cada carácter avaliado foram submetidas à análise de variância, considerando todos os efeitos como aleatório, exceto a média, conforme o modelo estatístico:

$Y_{ijk} = \mu + g_i + r_j + (b/r)_{jk} + e_{ijk}$, em que: Y_{ijk} é o valor observado do genótipo *i* no bloco *k*, dentro da repetição *j*; μ é a média geral do experimento; g_i é o efeito do genótipo *i* (*i* = 1, 2,..., 121); r_j é o efeito da repetição *j* (*j* = 1, 2, 3); $(b/r)_{jk}$ é o efeito do bloco *k* dentro da repetição *j* (*k* = 1, 2,..., 11); e_{ijk} é o erro experimental, NID ~ (0, σ^2).

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos softwares MSTAT-C Michigan StateUniversity (1991) e GENES (Cruz, 2006).

A partir das esperanças dos quadrados médios, foram estimadas a variância genética σ^2_G), a variância fenotípica (σ^2_P) e a herdadilidade no sentido amplo ($h^2_{\%}$), obtidas na avaliação da geração $S_{0:2}$, pelos seguintes estimadores:

$\hat{\sigma}^2_G = (Q_1 - Q_2)/r$; $\hat{\sigma}^2_P = Q_1/r$; $\hat{h}^2_{\%} = \left[\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}\right] * 100$, em que: Q_1é o quadrado médio de progênies (famílias); Q_2 é o quadrado médio do erro e; r é o número de repetições.

Para determinar os intervalos de confiança para as estimativas da herdabilidade, foram obtidos os limites inferiores (LI) e superiores (LS) das estimativas da herdabilidade, de acordo com as expressões apresentadas por Knapp et al. (1985). Os intervalos de confiança (IC) associados às estimativas da variância genética, foram estimados a partir da expressão apresentada por Ramalho et al. (2005).

Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípicas foram obtidas entre os caracteres avaliados (Cruz et al., 2004). Com a matriz de correlação dos caracteres explicativos, foi realizada a diagnose da multicolinearidade e o seu grau foi estabelecido com base no número de condição (NC), que é a relação entre o maior e o menor autovalor da matriz. Se NC<100, a multicolinearidade é denominada fraca e não constitui problema para a análise; se 100 <NC<1000, a multicolinearidade é considerada de moderada à forte; e se NC >1000, é considerada severa (Cruz e Carneiro, 2006).

Posteriormente, foi feito o desdobramento das correlações fenotípicas em efeito diretos e indiretos dos caracteres altura de plantas, número de espigas por parcela, peso de grãos por espiga, peso de mil grãos e índice de colheita (variáveis explicativas) sobre a produtividade de grãos (variável principal) por meio da análise de trilha (Wright, 1921).

De acordo com os resultados da análise de trilha foram escolhidos os caracteres para o uso do índice de seleção. Foi considerado que caracteres que apresentam alto efeito direto e baixa correlação ou baixo efeito direto e baixa correlação com a variável principal são usadas no índice de seleção. E aqueles que apresentam alta correlação com a variável principal ou baixa correlação e baixo efeito direto não são usadas para compor o índice de seleção (Cruz et al., 2004).

Para a seleção das famílias foram utilizados os critérios: seleção direta e três índices de seleção. O sentido dos ganhos desejados foi para acréscimo em todos os caracteres avaliados.

- Seleção Direta: na seleção direta, em princípio, espera-se obter ganhos em um único carácter sobre o qual se pratica a seleção. No caso, a seleção foi truncada em produtividade. O ganho esperado com seleção direta foi estimado por meio da expressão:

$GS = (\overline{X}_s - \overline{X}_0)\hat{h}^2$, em que: GS é o ganho de seleção; $\overline{X}_s$ é a média dos indivíduos selecionados para o carácter i; $\overline{X}_0$ é média original da população para o carácter i; $\hat{h}^2$ é a estimativa da herdabilidade do carácter i.

- Índice clássico de seleção de Smith (1936) e Hazel (1943): este índice consiste numa combinação linear dos valores fenotípicos dos vários caracteres de interesse. São consideradas as covariâncias genéticas e fenotípicas entre os *n* caracteres e peso econômico para cada carácter. O índice de seleção para cada progênie da população foi obtido pelo seguinte estimador (Cruz et al., 2004):

$$I = b_1x_1 + b_2x_2 + ... + b_nx_n = \sum_{i=1}^{n} b_i x_i = b'x$$

Para estimar o *b'* utiliza-se a seguinte expressão: $b' = P^{-1}Ga$, em que: I é a estimativa do índice de seleção; n é o número de caracteres avaliados; b' é o vetor de dimensão 1 x n dos coeficientes de ponderação do índice de seleção a ser estimado; x é a matriz de dimensão n x p de valores (ou médias) fenotípicos dos caracteres; a é o vetor de dimensão 1 x n de pesos econômicos previamente estabelecidos; G é a matriz de dimensão

n x n, de variâncias e covariâncias genéticas entre os caracteres; P^{-1} é inversa da matriz, de dimensão n x n, de variâncias e covariâncias fenotípicas entre os caracteres.

Uma vez estabelecido o índice, o interesse é quantificar o ganho de seleção em cada carácter avaliado e, ou, no conjunto. O ganho esperado para o carácter j, quando a seleção é praticada sobre o índice, é expresso por:

$\Delta g_{(jI)} = DS_{(jI)} h_j^2$, em que: $\Delta g_{(jI)} = g_{(jI)}$ é o ganho esperado para o carácter j, com seleção baseada no índice I; $DS_{(jI)}$ é o diferencial de seleção do carácter j, com seleção baseada no índice I; h_j^2 é a herdabilidade do carácter j.

- Índice com base na Soma de Postos ou "Ranks":consiste em classificar as progênies em relação a cada um dos caracteres, em ordem favorável ao melhoramento, a serem incluídos no índice. Uma vez classificados, são somadas as ordens de cada genótipo referente a cada carácter, resultando em medida adicional tomada como índice de seleção (Cruz et al., 2004). O seguinte estimador é utilizado:

$I_i = \sum n_{ij}$, em que: I_i é o índice do genótipo i; n_{ij} é o número de classificação do genótipo i, com relação ao carácter j.

Por este índice, os menores valores de I_i correspondem aos melhores genótipos, que são facilmente classificados, sem a necessidade de obtenção de estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos.

- Índice Z ou Somatório das variáveis padronizadas (Z): por esse método, os dados de todos os caracteres avaliados em todos os indivíduos foram padronizados, visando torná-los diretamente comparáveis. Assim, a variável foi estimada pelo seguinte estimador (Ramalho et al., 2005):

$Z_{ij} = (x_{ij} - m_{.j}) / s_{.j}$, em que: Z_{ij} é o valor da variável padronizada correspondente ao indivíduo i na repetição j; x_{ij} é o valor observado do carácter considerado do indivíduo i na repetição j; $m_{.j}$ é a média de todos os indivíduos na repetição j; $s_{.j}$ é o desvio padrão fenotípico da média na repetição j.

Como a variável Z pode assumir tanto valores negativos como positivos, para facilitar a visualização gráfica foi adicionada uma constante de valor quatro, de modo a tornar os valores de Z_{ij} sempre positivos. Nesse caso, a média populacional, em vez de zero, assumiu o valor quatro. O emprego desse índice na seleção simultânea em todos os caracteres

avaliados parte do pressuposto de que quanto maior o valor de Z melhor a população ou genótipo a ser selecionado. Para o índice somatório Z das variáveis padronizadas, foi utilizado peso econômico igual a um para todos os caracteres considerados.

Após padronização das variáveis, foi obtido o somatório de Z para cada parcela, o que tornou possível fazer a análise de variância para os demais caracteres avaliados e em seguida, obter médias preditas das progênies para o somatório Z, sendo as mesmas ranqueadas em sentido favorável ao melhoramento. Foram também estimados os parâmetros genéticos para o índice. Adicionalmente, foi utilizado o método gráfico para permitir a identificação das progênies de melhor desempenho.

Posteriormente, foram realizadas comparações entre os quatro índices considerados e obtida a porcentagem de coincidências entre as melhores progênies obtidas para cada índice. Foi adotada intensidade de seleção de 20% e para as estimativas dos ganhos, em todas as situações, foi utilizada a expressão: $GS = DS\hat{h}^2$.

4.3 RESULTADOS

A precisão experimental avaliada pelo coeficiente de variação (CV%) encontra-se dentro de níveis adequados para a cultura do trigo, variando de 4,54% para o carácter P1000 a 16,68% para peso de grãos por espiga.

A eficiência proporcionada pelo uso do delineamento em látice variou de 1,2% para peso de mil grãos a 28,98% para o carácter altura de plantas. Esse resultado confirma a maior eficiência deste delineamento em relação ao de blocos casualizados em todos os caracteres.

Houve diferenças significativas entre famílias ($p \leq 0,01$) para todos os caracteres avaliados (Tabela 1). Os desdobramentos de famílias dentro de cada população, que reflete o grau de variabilidade genética dentro das populações, apresentaram significância também para todos os caracteres avaliados.

O contraste famílias *versus* testemunhas apresentou significância ($p \leq 0,01$) para os caracteres produtividade de grãos, número de espigas por parcela, peso de grãos por espiga e peso de mil grãos.

TABELA 1 Resumo da análise de variância para produtividade de grãos (PG, kg ha^{-1}), altura de plantas (AP, cm), número de espigas por parcela (NE), peso de grãos por espiga (PGE, gramas), peso de mil grãos (P1000, gramas), índice de colheita (IC) e índice de padronização Z (Z), obtidos na avaliação de famílias de trigo na geração $S_{0:2}$ do ciclo II de seleção recorrente. Viçosa, MG, 2010.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio						
		PG (kg ha^{-1})	AP (cm)	NE	PGE (gramas)	P1000 (gramas)	IC	Z
Tratamentos	120	951 083,12**	346,13**	1 224,84**	0,15**	44,42**	0,007 7**	16,77**
Famílias	102	1 004 845,28**	304,65**	1 348,75**	0,16**	50,16**	0,008 4**	18,61**
Fam / Pop 1	20	615 719,02**	285,49**	1 026,43**	0,13**	25,80**	0,006 4**	11,90**
Fam / Pop 2	30	955 701,15**	415,62**	2 000,31**	0,20**	61,12**	0,007 8**	18,47**
Fam / Pop 3	29	917 438,14**	182,65**	1 533,73**	0,15**	61,74**	0,005 0**	13,87**
Fam / Pop 4	20	806 885,85**	347,27**	321,20*	0,12*	39,36**	0,004 5**	12,23**
Entre Pop	3	7 331 297,84**	236,86**	2 082,82	0,41**	62,42**	0,096 2**	173,64**
Testemunhas	17	471 352,27*	605,88**	524,47^{ns}	0,10*	12,32**	0,004 0**	5,59*
Famvs Test	1	3 622 768,50**	161,34^{ns}	492,46*	0,07*	3,93*	0,000 2^{ns}	18,09*
Erro Efetivo	210	234 599,41	48,40	322,4	0,06	3,55	0,001	2,76
Média Famílias		3 501	106	162,5	1,48	41,45	0,33	19,89
Média Testemunhas		3 782	108	165,8	1,51	41,74	0,33	20,52
CV_e		13,67	6,57	11,01	16,68	4,54	9,49	8,31
Eficiência do Látice (%)		26,96	28,98	5,81	1,82	1,20	5,10	22,43

**,* Significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; ^{ns}; não signficativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A existência de variação entre as famílias de modo a permitir sucesso com a seleção pode ser confirmada por meio das estimativas da herdabilidade ($\hat{h}^2$). Em todos os caracteres avaliados, as $\hat{h}^2$ foram diferentes de zero, pois, o limite inferior, com 95% de probabilidade, foi positivo (Tabela 2). Pelas estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos evidenciou-se a existência de variação entre as famílias. Em todas as situações a $\hat{\sigma}^2_G$ foi diferente de zero (Tabela 2) e a razão CV_g/CV_e foi elevada para todos os caracteres avaliados, sobretudo para MMG (1,96) e índice de colheita (1,52), com valores superiores à unidade.

Para que a avaliação da associação entre caracteres tenha estimativa e gere interpretação biologicamente apropriada e segura, é de fundamental importância que se teste o grau de colinearidade entre as variáveis independentes. Após obter a matriz de correlação entre os caracteres das famílias avaliadas, realizou-se a análise de multicolinearidade nessa matriz e constatou-se número de condição (Máx/Mín) de 41,3, o que caracteriza multicolinearidade fraca e não constitui problema sério para realizar a análise de trilha.

TABELA 2 Estimativas dos componentes de variância e da herdabilidade no sentido amplo de caracteres de trigo, do índice de colheita (IC) e do valor de padronização Z (Z), obtidos na geração $S_{0:2}$, do ciclo II de seleção recorrente. Viçosa, MG, 2010.

Estimativas	PG (kg/ha)	Altura (cm)	NE	PGE (gramas)	P1000 (gramas)	IC	Z
$\hat{\sigma}^2_G$	256 749	85,42	342,12	0,033 5	15,54	0,002 47	5,29
LI	183 991	63,05	244,52	0,022 3	11,8	0,001 85	3,92
LS	383 370	122,29	512,81	0,056 1	21,38	0,003 47	7,53
$\hat{\sigma}^2_P$	334 948	101,55	449,58	0,053 9	16,72	0,002 8	6,2
$\hat{h}^2_{\%}$	0,77	0,84	0,76	0,62	0,93	0,88	0,85
LI	67,65	0,78	0,67	0,48	0,9	0,84	0,79
LS	83,48	0,89	0,83	0,73	0,95	0,92	0,9
CV_g/CV_e	1,00	1,43	0,97	0,71	1,96	1,52	1,3

LI: limite inferior; LS: limite superior; PG: produtividade de grãos; NE: número de espigas por parcela; PGE: peso de grãos por espiga; P1000: peso de mil grãos.

Pelos resultados da análise de trilha foi constatado que o carácter altura de plantas não apresentou correlação e nem efeito direto com produtividade de grãos. O número de espigas, peso de mil grãos, peso de grãos na espiga e índice de colheita tiveram baixo efeito

direto sobre produtividade de grãos, entretanto, todos correlacionaram significativamente com produtividade. Diante desses resultados, a altura de plantas não foi incluída para a estimação dos índices de seleção. Com a matriz de correlações dos quatro caracteres que foram utilizados para estimar os índices de seleção, foi realizada outra análise de multicolinearidade. Essa não foi detectada, o que permitiu o uso dos cinco caracteres para predição dos ganhos através dos índices de seleção (Cruz e Carneiro, 2006).

Na Tabela 3 são apresentadas as estimativas dos ganhos pela seleção direta em produtividade de grãos e a resposta correlacionada nos demais caracteres. Com a seleção direta sobre produtividade de grãos, foi predito ganho de seleção de 18,84% e para os demais caracteres também foram obtidos ganhos consideráveis, o que é desejado.

Para a predição de ganhos com o índice Smith e Hazel (SH) foi necessário atribuir pesos econômicos a cada carácter. Alguns autores têm atribuído pesos iguais para todos os caracteres inclusos no índice, geralmente esse valor é um (Lima, 2010; Reis, 2010). Nesse trabalho, adotaram-se os coeficientes de variação genética de cada carácter como pesos econômicos. Segundo Cruz et al. (2004), o coeficiente de variação genético pode ser um bom referencial, uma vez que, sendo diretamente proporcional à variância genética disponível, mantém de certa forma, a proporcionalidade entre os caracteres e é adimensional. Oliveira (2008) utilizou os coeficientes de variação genética como peso econômico para predizer ganhos em trigo e verificou que esses proporcionaram maiores ganhos genéticos quando comparado a outros valores para o peso econômico.

Os ganhos percentuais preditos para o índice SH possibilitaram a obtenção de ganhos positivos para todos os caracteres (Tabela 3), com ganho para produtividade de grãos de 18,82%.

O ganho predito em produtividade desse índice apresentou muita proximidade com o valor obtido com a seleção direta. Para o peso de grãos por espiga, peso de mil grãos e índice de colheita, os ganhos preditos pelo índice SH foram ligeiramente superiores aos encontrados pela seleção truncada em produtividade de grãos.

TABELA 3 Predição dos ganhos genéticos (GS) com base na seleção direta em produtividade de grãos de trigo, índice Clássico de Smith e Hazel, índice de Soma de Postos ou Ranks e índice de padronização Z. Viçosa, MG, 2010.

Seleção direta em produtividade					
Parâmetros*	PG (kg ha^{-1})	NE	PGE (gramas)	P1000 (gramas)	IC
$\bar{X}_s$	3 501	163	1,48	41,45	0,33
$\bar{X}_0$	4 358	176	1,65	42,43	0,36
$\hat{h}^2$	0,77	0,76	0,62	0,93	0,88
GS	659,73	9,89	0,1	0,91	0,03
$GS_{(\%)}$	18,84	6,07	7,07	2,21	8,46
Índice Smith e Hazel					
Parâmetros	PG (kg ha^{-1})	NE	PGE (gramas)	P1000 (gramas)	IC
$\bar{X}_s$	3501	163	1,48	41,45	0,33
$\bar{X}_0$	4357	175	1,68	43	0,37
$\hat{h}^2$	0,77	0,76	0,62	0,93	0,88
GS	658,97	9,13	0,12	1,44	0,04
$GS_{(\%)}$	18,82	5,6	8,41	3,47	10,72
Índice de Soma de Postos ou Ranks					
Parâmetros	PG (kg ha^{-1})	NE	PGE (gramas)	P1000 (gramas)	IC
$\bar{X}_s$	3501	163	1,48	41,45	0,33
$\bar{X}_0$	4237	172	1,73	44,15	0,37
$\hat{h}^2$	0,77	0,76	0,62	0,93	0,88
GS	567,08	6,85	0,16	2,51	0,04
$GS_{(\%)}$	16,2	4,2	10,51	6,05	10,72
Índice Z					
Parâmetros	PG (kg ha^{-1})	NE	PGE (gramas)	P1000 (gramas)	IC
$\bar{X}_s$	3501	163	1,48	41,45	0,33
$\bar{X}_0$	4 270,38	175	1,72	43,68	0,37
$\hat{h}^2$	0,77	0,76	0,62	0,93	0,88
GS	592,42	9,13	0,15	2,07	0,04
$GS_{(\%)}$	16,92	5,6	10,09	5,00	10,72

*$\bar{X}_s$: média original da população; X_s: média das famílias selecionadas; $\hat{h}^2$= herdabilidade no sentido amplo; GS = ganho de seleção; GS (%) = ganho de seleção predito em porcentagem.PG: produtividade de grãos; NE: número de espigas por parcela; PGE: peso de grãos por espiga; P1000: peso de mil grãos; IC: índice de colheita.

Para a predição de ganhos com o índice Soma de Postos ou "Ranks" (SP) também foi atribuído pesos econômicos a cada carácter referente ao seu coeficiente de variação

genético. Utilizando-se a seleção com base no índice SP obtiveram-se ganhos positivos para todos os caracteres (Tabela 3), com ganhos preditos para produtividade de 16,2%.

O ganho predito em produtividade desse índice foi ligeiramente inferior aos obtidos com a seleção direta e o índice SH. No entanto, para o peso de grãos por espiga e o peso de mil grãos, os ganhos preditos pelo índice SP foram superiores às demais estratégias.

No Índice de Padronização Z,As observações relativas à produtividade de grãos, número de espigas por parcela, peso de grãos por espiga, peso de mil grãos e índice de colheita foram padronizadas por repetição, visando torná-las diretamente comparáveis. Assim, foi possível realizar análise de variância.

Constatou-se que as progênies diferiram com relação ao índice Z em todas as populações avaliadas ($p \leq 0,01$) (Tabela 1). Isso indica a presença de variabilidade entre as progênies, quando se consideram os cinco caracteres simultaneamente. O contraste famílias versus testemunhas apresentou significância ($p \leq 0,01$) indicando que, em média, as famílias diferiram das testemunhas.

A estimativa da herdabilidade ($\hat{h}^2$) do somatório de Z foi 85%, valor este considerado alto (Tabela 2). Isto indica que a seleção entre as famílias poderá ser bem sucedida. A $\hat{h}^2$ foi diferente de zero, pois, o limite inferior, com 95% de probabilidade, foi positivo (Tabela 2).

Pelas estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos evidenciou-se existência de variação entre as famílias. A $\hat{\sigma}^2_G$ foi diferente de zero e a razão CV_g/CV_efoi superior à unidade (Tabela 2).

As famílias foram classificadas e aquelas com maior índice Z foram selecionadas (Tabela 5). Por meio de análise gráfica, foi possível verificar em quais caracteres envolvidos a progênie tem alguma deficiência e a contribuição de cada variável padronizada (Z_{ij}) no valor do índice Z. Esta análise é possível, pois cada eixo no gráfico corresponde a uma variável padronizada com a média geral igual a quatro em todos os casos. Esse procedimento foi realizado para as populações que apresentaram os maiores valores do índice Z.

A família 11, da população 4, apresentou valores de Z acima da média da população para os cinco caracteres considerados (Figura 1), formando um círculo perfeito, o que caracteriza o modelo “bola cheia”. De modo semelhante, a família 7, população 4 e família

8, também da população 4, apresentaram valores de Z consideravelmente altos, ajustando-se como “bola cheia” (Figuras 2 e 3).

Para a produtividade de grãos, o ganho predito com o índice Z foi de 16,92% (Tabela 3). Esse valor está ligeiramente inferior ao ganho predito pela seleção direta em produtividade de grãos, porém, para peso de grãos por espiga, peso de mil grãos e índice de colheita, os ganhos preditos no índice Z foram superiores.

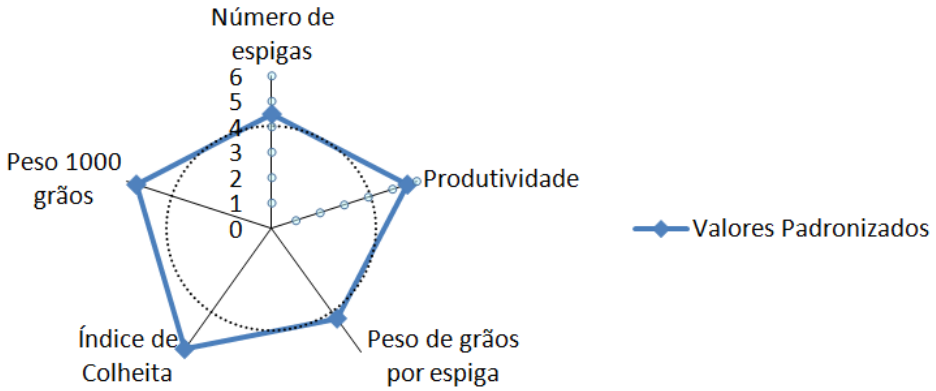

FIGURA 1. Valores padronizados (Z_{ij}) de cinco caracteres da Família 11 (População 4) de trigo com o maior valor do índice Z.

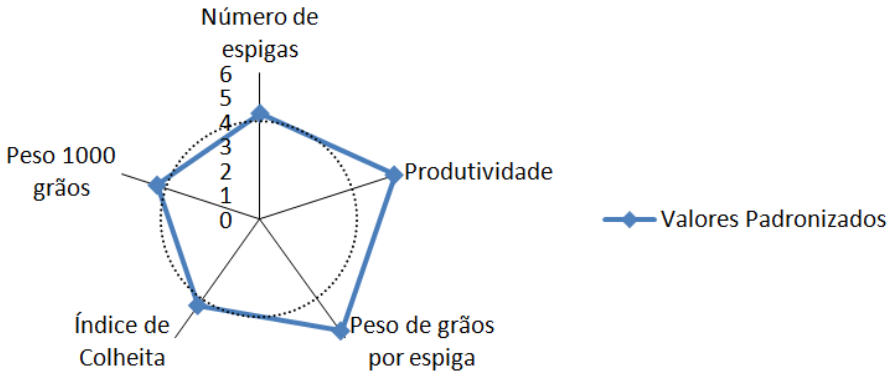

FIGURA 2. Valores padronizados (Z_{ij}) de cinco caracteres da Família 7 (População 4) que apresentou o segundo maior valor do índice Z.

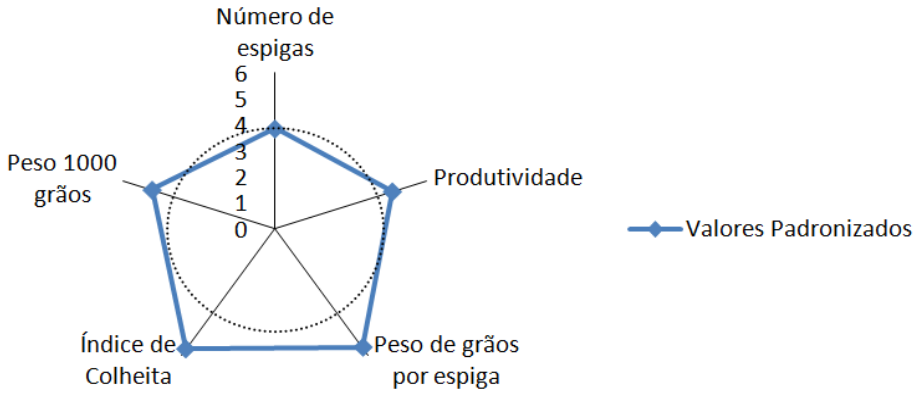

FIGURA 3. Valores padronizados (Z_{ij}) de cinco caracteres da Família 8 (População 4) que apresentou o terceiro maior valor do índice Z.

Na Tabela 5 estão relacionadas as 20 melhores progênies (20%) selecionadas com base nas diferentes estratégias de seleção. A correspondência entre as progênies selecionadas por meio dos diferentes índices foi alta; 75% das famílias selecionadas foram comuns às quatro estratégias de seleção.

TABELA 5 Progênies selecionadas de acordo com a Seleção Direta, índice de Smith e Hazel (SH), índice de Soma de Postos (SP) e índice de padronização Z, obtidos na avaliação de progênies de trigo do programa de Seleção Recorrente da UFV. Viçosa, MG, 2010.

Classificação	Seleção Direta	Índice SH	Índice SP	Índice Z
1	Pop 3fam 27	Pop 4fam 7	Pop 4fam 11	Pop 4fam 11
2	Pop 4fam 7	Pop 4fam 11	Pop 4fam 4	Pop 4fam 7
3	Pop 4fam 11	Pop 3fam 27	Pop 4fam 8	Pop 4fam 8
4	Pop 2fam 10	Pop 2fam 1	Pop 4fam 21	Pop 4fam 4
5	Pop 2fam 1	Pop 2fam 10	Pop 4fam 7	Pop 4fam 21
6	Pop 4fam 4	Pop 4fam 4	Pop 3fam 9	Pop 3fam 27
7	Pop 4fam 16	Pop 4fam 21	Pop 2fam 1	Pop 2fam 1
8	Pop 4fam 12	Pop 4fam 12	Pop 4fam 1	Pop 3fam 9
9	Pop 2fam 12	Pop 3fam 5	Pop 2fam 10	Pop 4fam 1
10	Pop 4fam 21	Pop 2fam 12	Pop 3fam 2	Pop 3fam 5
11	Pop 3fam 5	Pop 4fam 16	Pop 3fam 17	Pop 2fam 10
12	Pop 3fam 9	Pop 4fam 1	Pop 4fam 12	Pop 3fam 17
13	Pop 3fam 2	Pop 3fam 9	Pop 1fam 21	Pop 3fam 19
14	Pop 3fam 26	Pop 3fam 2	Pop 3fam 19	Pop 4fam 6
15	Pop 2fam 3	Pop 4fam 8	Pop 4fam 20	Pop 4fam 12
16	Pop 4fam 1	Pop 3fam 26	Pop 2fam 12	Pop 3fam 2
17	Pop 4fam 20	Pop 3fam 17	Pop 3fam 20	Pop 3fam 26
18	Pop 3fam 19	Pop 4fam 20	Pop 4fam 6	Pop 3fam 20
19	Pop 3fam 17	Pop 3fam 19	Pop 3fam 26	Pop 4fam 20
20	Pop 4fam 9	Pop 2fam 3	Pop 3fam 5	Pop 1fam 21

Pop: população; fam: família

4.4 DISCUSSÃO

Para se obter genótipo de trigo geneticamente superior é necessário que o mesmo reúna, simultaneamente, alelos favoráveis para o máximo possível de caracteres que lhe proporcionem vantagens em relação aos já existentes, tanto no que se refere às exigências do produtor quanto àquelas da indústria e do consumidor final.

Na maioria dos programas de melhoramento, o aumento da produtividade é um dos principais objetivos. A produtividade por área reflete a influência de todos os fatores bióticos e abióticos que atuam durante o desenvolvimento da planta. Para a região do Brasil-Central o estresse de calor constitui-se em um dos maiores limitantes para a expressão de todo o potencial da planta de trigo (Cargnin et al., 2009).

A opção de utilizar a seleção recorrente baseou-se no fato de que é uma estratégia mais indicada para o desenvolvimento de populações com tolerância ao calor e com flexibilidade para agregar alelos desejáveis de outros caracteres, simultaneamente. Neste trabalho, para a realização da seleção recorrente, os cruzamentos foram direcionados de forma a permitir a associação da boa tolerância ao calor de um genitor com outro carácter agronômico favorável à cultura em uma única progênie. No entanto, sabe-se que a seleção simultânea de vários caracteres desejáveis é uma alternativa que pode aumentar a probabilidade de sucesso em um programa de melhoramento.

Caracteres que maximizem os componentes da produção: número de espigas por planta, peso de grãos por espiga e peso de mil grãos, além de outros caracteres que indiretamente podem influenciar na produção, são exaustivamente buscados pelos programas de melhoramento de trigo. Entretanto, há dificuldade de encontrar genótipos com alelos favoráveis para todos esses caracteres simultaneamente. Isso acontece porque geralmente esses caracteres não são considerados para a seleção nos programas de melhoramento, uma vez que a seleção é feita, quase sempre, com base apenas em produtividade de grãos.

Quanto ao peso de grãos por espiga, 1,48 gramas, esse foi de magnitude moderada. Estudos recentes com trigo hexaplóide sintéticos, os quais tendem a ter maiores pesos de grãos que as cultivares convencionais, tem demonstrado aumentos no peso de grãos quando o suprimento de assimilados foi incrementado pela degrana parcial durante o crescimento da espiga. Nenhum efeito de tamanho de grão foi apresentado quando a degrana aconteceu

uma semana depois de antese. Com base nestes dados, é proposto que estendendo a duração da rápida fase de crescimento da espiga pode ser aumentado o potencial de rendimento de grãos não só pelo aumento do número de grãos, mas também pelo aumento do peso de grãos por estender a possibilidade de desenvolvimento individual do grão (Calderini e Reynolds, 2000).

Para o carácter peso de mil grãos, o valor médio de 41,45 g foi ligeiramente superior à média de 40 g, ou seja, os grãos das famílias estão maiores ou com maior densidade. O enchimento dos grãos de trigo é dependente de vários fatores do ambiente, sobretudo da temperatura do ar. Em condições de estresse de calor ocorre redução do período de enchimento e peso dos grãos (Cargnin et al., 2006); a superioridade do peso médio dos grãos das famílias, em relação à média dos progenitores pode ser indicador da combinação de alelos de origem de pais distintos.

O índice de colheita médio encontrado (0,33) apresentou-se bem menor que o potencial máximo teórico da cultura (0,60), conforme consta na literatura (Austin et al.,1980). Entretanto, foi superior à média encontrada por Maich et al. (2000), que apresentou valores de índices de colheita de 0,22; 0,23 e 0,24; para populações de trigo avaliadas no primeiro, segundo e terceiro ciclo de seleção recorrente, respectivamente. Maiores valores de índice de colheita estão associados à melhoria da partição de assimilados, que culminam com maior rendimento de grãos.

Os valores das $\hat{h}^2$variaram de 62 a 93% para os caracteres analisados; estes valores são relativamente superiores aos que têm sido encontrados para esses caracteres (Wiersma et al., 2001; Reynolds et al., 2007). As maiores $\hat{h}^2$foram verificadas para os caracteres peso de mil grãos e índice de colheita, o que indica maior possibilidade de sucesso na seleção e melhoria desses caracteres.

A variância genética é outro parâmetro importante como indicador de variabilidade entre populações ou famílias, condição essencial em qualquer estratégia de melhoramento. Populações cujos caracteres avaliados estejam associados a altas h^2 e variabilidade genética proporcionam ganhos satisfatórios ao longo de vários ciclos de seleção.

Pelo coeficiente de variação genética (CV_g) é possível inferir sobre a variabilidade genotípica dos genótipos avaliados em um determinado experimento e esse é utilizado como peso econômico em alguns índices de seleção (Cruz et al., 2004; Oliveira, 2008), como os usados nesse trabalho. Uma maneira de avaliar a variabilidade genética é através

da razão entre o coeficiente de variação genético e o experimental(CV_g/CV_e). Se esta relação for superior à unidade, o processo de seleção será facilitado, pois o CV_gestá em maior proporção que o CV_e. Apesar da existência de influência ambiental na variabilidade total da população, fato que dificultaria o processo de seleção, os valores encontrados para a relação CV_g/CV_eindicam que boa parte da variação observada nas famílias avaliadas é devida à variância genética. Apenas o carácter peso de grãos por espiga apresentou estimativa de CV_g/CV_einferior a um (0,71), indicando maior dificuldade de ganho para este carácter.

Em todas as situações a$\hat{\sigma}_G^2$foi diferente de zero (Tabela 2) e a razão CV_g/CV_efoi elevada para todos os caracteres avaliados, sobretudo para P1000 (1,96) e índice de colheita (1,52), com valores superiores à unidade, o que é considerado ideal para a seleção (Cruz et al., 2004).

Apesar de sua importância na seleção de plantas de trigo, a altura de plantas, não se correlacionou com produtividade de grãos e, ainda, não apresentou efeito direto sobre produtividade. Por essa razão, não foi utilizado dados de altura de plantas na predição dos ganhos genéticos. Os caracteres peso de mil grãos, peso de grãos por espiga, número de espigas e índice de colheita apresentaram baixo efeito direto sobre produtividade de grãos e foram utilizados em função de correlacionarem significativamente com produtividade de grãos.

A predição dos ganhos genéticos com a seleção direta, truncada em produtividade de grãos, e com o uso do índice de Smith e Hazel (SH) foram muito semelhantes para todos os caracteres, indicando a boa precisão do índice SH para uso em programas de melhoramento de trigo. Esta mesma tendência foi constatada por Granate et al. (2002), que utilizaram índices de seleção para predizer ganhos em uma população de milho-pipoca. Esses autores verificaram que os ganhos preditos com o índice SH são superiores aos preditos com outros índices. Além disso, pelo o índice SH os autores obtiveram ganhos em produtividade de grãos e capacidade de expansão, caracteres estes inversamente correlacionados. Em eucalipto, Paula et al. (2002) verificaram que o índice SH apresentou pequenas alterações nos ganhos totais, mesmo com a variação nos pesos econômicos estabelecidos, proporcionando estimativas semelhantes de ganhos nos caracteres originais. Ainda nesse trabalho, o índice SH possibilitou a previsão de maiores progressos genéticos do que os

demais índices e a seleção direta. Em arroz irrigado, o índice SH possibilitou ganhos semelhantes à seleção direta para produtividade de grãos, mas com a vantagem de aumentar a resistência à brusone na folha (Rodriguez et al., 1998). A seleção baseada no índice obteve resposta quanto à brusone na folha de -0,36%, demonstrando a possibilidade de aumentar simultaneamente a produtividade de grãos e a resistência a esta doença na população melhorada.

Os ganhos preditos também permitiram a obtenção de ganhos positivos para todos os caracteres com a utilização do índice proposto de Soma de Postos ou Ranks. Esse índice predisse ganhos inferiores de produtividade de grãos em comparação com a seleção direta e com o índice SH. No entanto, para o peso de grãos por espiga e o peso de mil grãos, os ganhos preditos pelo índice SP foram superiores aos índices anteriores.

Santos et al. (2007) utilizaram o índice SP em um trabalho para predição de ganhos genéticos em uma população de milho pipoca. Foi constatado que a seleção das famílias superiores, realizada com base no índice SP produziu ganhos preditos de 7,16%, para capacidade de expansão e 10,00% para produção, além de ganhos negativos para espigas doentes e atacadas por pragas e plantas acamadas e quebradas, sendo, portanto, o procedimento mais adequado na seleção de progênies superiores para constituírem o terceiro ciclo de seleção recorrente em milho pipoca. Em soja, Costa et al. (2004) estimaram os ganhos e concluíram que o índice SP foi o mais adequado para as condições do experimento, com progressos em várias situações e caracteres. Oliveira (2008) utilizou o índice SP em populações de trigo e obtiveram ganhos no sentido favorável para florescimento de plantas, altura, produtividade de grãos e peso de mil grãos.

O último índice usado foi o Índice de Padronização Z, também conhecido como índice "Bola cheia ou murcha". Com esse índice, ficou constatado que as progênies diferiram significativamente ($p \leq 0,01$) pelo teste F, a $\hat{h}^2$do somatório de Z foi alta e a relação CV_g/CV_efoi acima da unidade. Outra vantagem do índice Z é que, adicionalmente, ele permite verificar, por meio de uma análise gráfica, em quais caracteres envolvidos a progênie tem alguma deficiência. Assim, pôde-se observar que as famílias que apresentaram valores de Z acima da média da população para os cinco caracteres considerados, formaram um círculo perfeito, ou muito próximo, o que caracteriza o modelo "bola cheia". Deve-se ressaltar que os desempenhos dessas progênies demonstram a existência de ganhos com a seleção.

Para a produtividade de grãos, o ganho predito foi ligeiramente inferior ao ganho predito pela seleção direta em produtividade de grãos, porém, para o peso de grãos por espiga, peso de mil grãos e índice de colheita, os ganhos preditos no índice Z são superiores e semelhantes aos outros índices.

Menezes Júnior et al. (2008) utilizaram a padronização dos dados, índice Z, para estimar o progresso genético após três ciclos de seleção recorrente na cultura do feijoeiro para três caracteres: produtividade de grãos, porte da planta e tipo de grão. Concluíram que o progresso genético foi de 3,1% por ciclo após três ciclos de seleção recorrente. Mendes et al. (2009) utilizaram esse índice na análise de um cruzamento dialélico, visando identificar as populações segregantes mais promissoras em produtividade de grãos, porte das plantas e resistência ao acamamento, simultaneamente. Reis (2010) estudando caracteres tecnológicos de madeira em *Eucalyptus*, concluiu que houve boa concordância na seleção de progênies pelos índices SH, índice SP e índice Z. Lima (2010) objetivou comparar alguns índices de seleção visando à obtenção de linhagens de feijão superiores e concluiu que é possível selecionar os caracteres produtividade de grãos, planta ereta e grãos tipo carioca com padrão comercial, utilizando-se o índice de seleção obtido por meio do somatório das variáveis padronizadas (Z).

A facilidade de obtenção do índice Z, aliada à possibilidade de ser submetido à análise estatística e à análise gráfica do desempenho de cada progênie, sugere que esse índice também é uma boa opção para os melhoristas de trigo.

Ao se analisar a coincidência na seleção das progênies, constatou-se que 75% das famílias selecionadas foram comuns às quatro estratégias de seleção. Isso demonstra que todos os índices de seleção utilizados foram satisfatórios, cabendo ao melhorista a decisão de escolha. No caso da seleção de progênies de trigo produtivas e com maior tolerância ao calor, a predição de ganhos com a seleção direta truncada em produtividade foi mais eficiente quando comparada aos índices de seleção, levando em consideração que plantas mais produtivas são também mais tolerantes ao estresse provocado pelo calor.

4.5 CONCLUSÕES

Os ganhos preditos para produtividade de grãos com a utilização de diferentes estratégias de seleção variaram de 16,2 a 18,8%.

Houve boa concordância na seleção de progênies pela seleção direta e pelos índices de Smith e Hazel, Soma de Postos e somatório Z das variáveis padronizadas.

Para seleção de progênies superiores e tolerantes ao calor, a seleção direta truncada em produtividade é a estratégia mais eficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSTIN, R.B., BINGHAM, J.; BLACKWELL, R.D.; EVANS, L.T.; FORD, M.A.;MORGAN, C.L.; TAYLOR, M. Genetic improvement in winter wheat yields since1900 and associated physiological changes. **JournalofAgriculture Science,** v.94, p.675-689, 1980.

BARBOSA, M.H.P.; PINTO, C.A.B.P. Eficiência de índices de seleção na identificação de clones superiores de batata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, p.149-156, 1998.

BERNARDO, R. **Breeding for quantitativetraits in plants.** Woodbury: Stemma, 2002. 368p.

CALDERINI, D. F.; M. P. REYNOLDS. Changes in grain weight as a consequence of de-graining treatments at pre- and post-anthesis in synthetic hexaploid lines of wheat (*Triticum durum* x *T. tauschii*). **AustralianJournalofPlantPhysiology**, v.27, p. 83-91, 2000.

CARGNIN, A.; SOUZA, M.A.; ROCHA, V.S.; MACHADO, J.C.; PICCINI, E. Tolerância ao estresse térmico em genótipos de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília,v.41, n.8, p.1269-1276, 2006.

CARGNIN, A.; SOUZA, M. A.; FRONZA, V.; FOGAÇA, C. M. Geneticandenvironmentalcontributionstoincreasedwheatyield in Minas Gerais, Brazil. **ScientiaAgricola,** Piracicaba, v.66, n.3, p.317-322, 2009.

Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. **Informações técnicas para a cultura de trigo e triticale: safra 2009**. Passo Fundo, RS . Embrapa Trigo : Embrapa Transferência de Tecnologia, 2008. 172 p.

COSTA, M.M.; MAURO, A.O.; TREVISOLI, S.H.U; ARRIEL, N.H.C.; BÁRBARO, I.M.; MUNIZ, F.R.S. Ganho genético por diferentes critérios de seleção em populações segregantes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1095-1102, 2004.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. Viçosa: Editora UFV, 2004. v.1. 480p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa, MG: UFV, 2006. v.2, 585p.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**.London: LongmanMalaysia, 1996. 463 p.

GONÇALVES, G.M.; VIANA, A.P.; BEZERRA NETO, F.V.; PEREIRA, M.G.; PEREIRA, T.N.S. Seleção e herdabilidade na predição de ganhos genéticos em maracujá-amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.2, p.193-198, fev., 2007.

GRANATE, M.J.; CRUZ, C.D.; PACHECO, C.A.P. Predição de ganho genético com diferentes índices de seleção no milho pipoca CMS-43. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.7, p.1001-1008, 2002.

IBGE, 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.**Levantamento Sistemático da Produção Agrícola .** Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_impressao.php?id_noticia=160

KNAPP, S.J.; STROUP, W.W.; ROSS, W.M. Exact confidence intervals for heritability on a progeny mean basis.**Crop Science,** Madison, v.25, n.1, p.192-194, 1985.

LIMA, L. K. **Implicações da interação progênies x ambientes no índice de seleção envolvendo alguns caracteres na cultura do feijoeiro.** 2010. 74 p.Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

MAICH, R.H.; GAIDO, Z.A.; MANERA, G.A.; DUBOIS, M.E. Two cycles of recurrent selection for grain yield in bread wheat. Directeffectandcorrelated responses. **Agriscientia**, vol. XVII, p. 35-39. 2000.

MENDES, F.F.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A. de F. Índice de seleção para escolha de populações segregantes do feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1312-1318, 2009.

MENEZES JÚNIOR, J.A.N.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A. F.B. Seleção recorrente para três caracteres do feijoeiro. **Bragantia**, v.67, p.833-838, 2008.

OLIVEIRA, D. M. **Seleção em Populações de Trigo Visando Tolerância ao Estresse de Calor.** 2008. 69 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

PAULA, R. C.; PIRES, I. E.; BORGHES, R. C. G.; CRUZ, C. D. Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.2, p.159-165, 2002.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA, 2005b. 322 p.

REIS, C. A. F. P**roposta de índice de seleção no melhoramento genético do eucalipto.** 2010. 89 p.Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

REYNOLDS, M. P., J. I. ORTIZ-MONASTERIO, AND A. MCNAB (eds). 2001. **Application of physiology in wheat Breeding**. Mexico, D.F.: CIMMYT.

REYNOLDS, M. P..; PIERRE, C. S.; SAAD, A. S. I.; VARGAS, M. and CONDON A. G. Evaluating potential genetic gains in wheat associated with stress-adaptive trait expression in elite genetic resources under drought and heat stress. **Crop Science,**Madison, v.47, p.172-189, 2007.

SANTOS, F. S.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; FREITAS JÚNIOR, S. P.; RANGEL, R. M.; PEREIRA, M. G. Predição de ganhos genéticos por índices de seleção na população de

milho-pipoca UNB-2U sob seleção recorrente. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.3, p.389-396, 2007.

SILVA, M. S.; ANDRADE, J. M. V.; ALBRECHT, J. C.; SOBRINHO, J. S.; CANOVAS. No Brasil Central também dá trigo. **Cultivar**, Abril 2001, p. 18-23.

WAHID, A., GELANI, S., ASHRAF, M., FOOLAD, M.R., 2007.Heat tolerance in plants: An overview. **Environmental and Experimental Botany,** v.61, 199-223.

WIERSMA, J. J.; BUSCH, R. H.; FULCHER, G. G.; HARELAND, G. A. Recurrent selection for kernel weight in spring wheat. **Crop Science**, Madison, v.41, n 4, p. 999-1005, 2001.

WRIGHT, S. Correlation and causation.**Journal of Agricultural Research**, v.20, p.557-585, 1921.

5 CONCLUSÕES GERAIS

Após três ciclos de seleção recorrente, o progresso genético para produtividade de grãos foi de 8,4%.

A existência de variabilidade genética entre as famílias, especialmente no último ciclo, evidencia a possibilidade de continuar obtendo sucesso com a seleção nos ciclos seguintes.

Os ganhos preditos para produtividade de grãos com a utilização de diferentes estratégias de seleção nas progênies obtidas do último ciclo de seleção variaram de 16,2 a 18,8%.

Houve boa concordância na seleção de progênies obtidas do terceiro ciclo de seleção recorrente pela seleção direta e pelos índices de Smith e Hazel, Soma de Postos e somatório Z das variáveis padronizadas.