

DAVI MELO DE OLIVEIRA

SELEÇÃO EM POPULAÇÕES DE TRIGO VISANDO TOLERÂNCIA
AO ESTRESSE DE CALOR

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Fitotecnia, para obtenção
do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2008

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

T

O48i
2008

Oliveira, Davi Melo de, 1982-

Seleção em populações de trigo visando tolerância
ao estresse de calor / Davi Melo de Oliveira.

– Viçosa, MG, 2008.

vii, 60f.: il. ; 29cm.

Orientador: Moacil Alves de Souza.

Dissertação (mestrado) - 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.

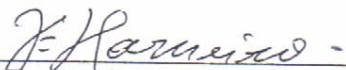
CDD 22.ed. 633.1123

DAVI MELO DE OLIVEIRA


SELEÇÃO EM POPULAÇÕES DE TRIGO VISANDO TOLERÂNCIA
AO ESTRESSE DE CALOR

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Fitotecnia, para obtenção
do título de *Magister Scientiae*.

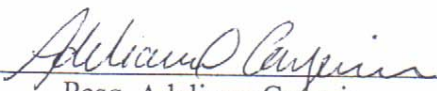
APROVADA: 10 de março de 2008.



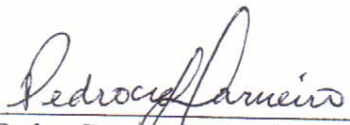
Prof. José Eustáquio de Souza Carneiro
(Co-Orientador)



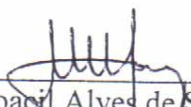
Prof. Valterley Soares Rocha
(Co-Orientador)



Pesq. Adelianno Cargnin



Prof. Pedro Crescêncio de Souza Carneiro



Prof. Moacir Alves de Souza
(Orientador)

DEDICO

A Deus, pela vida, saúde e força nos momentos mais difíceis de minha vida.

Aos meus pais, Sebastião e Maria das Graças, pelo amor, presença, respeito e exemplar educação.

Aos meus irmãos, Tininha, Danilo, Toni, Miriam e Ciro, pelo apoio, incentivo e pela marcante presença em minha vida.

OFEREÇO

Aos meus sobrinhos, Isadora, Igor, Júlia e aos que estão por vir, como um incentivo ao árduo, mas gratificante caminho dos estudos.

Muito obrigado a todos vocês!

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado o dom da vida, juntamente com a saúde, serenidade, sabedoria e consciência para poder aproveitá-la.

Aos meus pais, que com esforço, muito trabalho e força de vontade puderam me fornecer o estudo e a educação.

A toda a minha família, que me incentivou, acreditou e apoiou desde a infância.

A minha namorada Bruna, pelo apoio, compreensão e paciência durante meus afastamentos no decorrer do curso.

A Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade concedida.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo, sem a qual eu não poderia realizar este curso. E a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro no projeto de pesquisa.

Ao Professor Moacil Alves de Souza, pela receptividade, orientação neste trabalho, disposição em ajudar e pelos ensinamentos durante todo o mestrado.

Aos colegas do Programa Trigo: Adeliano (atualmente na Embrapa - CPAC), Juarez, Adérico, Josi, Luiz Fernando, Aurélio, Expedito, funcionários do Setor de Agronomia e estagiários que passaram no programa durante o período de realização dos experimentos, sem a ajuda de todos vocês este trabalho não poderia ser realizado.

Ao André Duarte, com o qual dividi a moradia e as angústias neste período e por ter suportado meus momentos de mau humor, além do convívio e ajuda mútua.

Aos conselheiros, Professor Valterley Soares Rocha e José Eustáquio de Souza Carneiro e também aos demais membros da banca examinadora, pelas sugestões e colaborações no enriquecimento do trabalho.

A secretária do curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, Mara, pela disposição, paciência e lembrança dos compromissos no decorrer do curso.

A todos os colegas de curso, principalmente aos companheiros, pela ajuda nos estudos, troca de experiências e fraternidade nos momentos difíceis.

A todos os meus amigos, que mesmo à distância, direta ou indiretamente, contribuíram para essa conquista, seja incentivando ou torcendo por mim.

Muito Obrigado!

BIOGRAFIA

DAVI MELO DE OLIVEIRA, filho de Sebastião Alves de Oliveira e Maria das Graças Melo de Oliveira, nasceu em 7 de abril de 1982 na cidade de Piraúba, Zona da Mata do estado de Minas Gerais.

Concluiu o ensino médio (2º grau) em 1999 na Escola Estadual Prof.^a Francisca Pereira Rodrigues, na cidade de Piraúba.

No início de 2006, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras - MG. Em maio do mesmo ano ingressou no curso de Mestrado em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa-MG, defendendo o título de *Magister Scientiae* em 10 de março de 2008.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
OBJETIVOS.....	6
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	7
DESEMPENHO DE GENITORES E POPULAÇÕES SEGREGANTES DE TRIGO SOB ESTRESSE DE CALOR.....	11
Resumo.....	11
Abstract.....	12
Introdução.....	13
Material e Métodos.....	15
Resultados e Discussão.....	19
Conclusões.....	31
Referências Bibliográficas.....	32
ÍNDICES DE SELEÇÃO EM UM PROGRAMA DE SELEÇÃO RECORRENTE PARA TOLERÂNCIA AO CALOR EM TRIGO.....	35
Resumo.....	35
Abstract.....	36
Introdução.....	37
Material e Métodos.....	40
Resultados e Discussão.....	45
Conclusões.....	56
Referências Bibliográficas.....	56
CONCLUSÕES GERAIS.....	60

RESUMO

OLIVEIRA, Davi Melo de. M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2008.
Seleção em populações de trigo visando tolerância ao estresse de calor.
Orientador: Moacil Alves de Souza. Co-Orientadores: José Eustáquio de Sousa Carneiro e Valterley Soares Rocha.

O Brasil é dependente da importação de trigo, produzindo menos de 50% da demanda nacional do grão. Essa incômoda posição carece de medidas que visem o aumento da produção, como o acréscimo na produtividade e expansão da área plantada. A Região do Brasil-Central apresenta grande potencial para expansão da triticultura, contudo é caracterizada por temperaturas mais elevadas, que constitui séria limitação para a cultura em determinadas micro-regiões. Além disso, mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global poderão impor restrições à cultura do trigo. Diante disto, genótipos tolerantes ao calor são importantes para ampla adaptação aos ambientes com estresse de altas temperaturas. Objetivando detectar variabilidade genética para tolerância ao calor entre famílias e populações segregantes de trigo; quantificar o efeito de altas temperaturas sobre genótipos de trigo e; avaliar os ganhos preditos sob diferentes índices de seleção, foram conduzidos dois experimentos na área experimental da Universidade Federal de Viçosa. Os experimentos foram semeados nos meses de fevereiro (estresse de calor) e junho (sem estresse de calor) de 2007. No primeiro experimento avaliaram-se famílias $F_{2:4}$ e no segundo $F_{2:5}$. Foram avaliadas 240 famílias e 16 genitores em delineamento látice quadrado 16×16 , com duas repetições. Avaliaram-se os caracteres floração, altura de plantas, produção de grãos e massa de mil grãos. Todos os caracteres avaliados apresentaram redução sob altas temperaturas, sendo a produção de grãos o caráter mais afetado. Há variabilidade genética para tolerância ao calor entre genitores, populações segregantes e famílias de trigo. Os genótipos mais tolerantes ao calor foram os genitores 2 (BR 24), 3 (Aliança) e 4 (EP 93541) e as populações segregantes 1 (BH1146/BR24//Aliança/EP93541), 2 (BR24/Aliança//EP93541/CPAC9662) e 3 (Aliança/EP93541//CPAC9662/Pioneiro). Foram preditos ganhos simultâneos para todas as características avaliadas, sendo os índices de Mulamba e Mock, de Pesek e Baker e de Kempthorne e Nordskog os que possibilitaram ganhos nos sentidos desejados para todos os caracteres. Os ganhos preditos em altura foram maiores para o índice de Pesek e Baker. Desejando-se predizer o máximo de ganho em produção, sem alterar a altura das plantas, o índice de Kempthorne e Nordskog é o mais eficiente.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Davi Melo de. M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March of 2008.
Selection in wheat populations aiming the heat stress tolerance. Adviser: Moacil Alves de Souza. Co-Advisers: José Eustáquio de Sousa Carneiro and Valterley Soares Rocha.

Brazil is very dependent of the importation of wheat, producing less than 50% of the national demand. This bothering position lacks for measures that aim the increase of the production, as the increase in the productivity and expansion of the planted area. The Central-Brazil Region presents great potential for expansion of the wheat crop, however it is characterized by raised temperatures, that is a serious limitation for the wheat crop in some locality. Moreover, climatic changes resulting of the global warming will be able to impose restrictions to the wheat crop. About this, tolerant genotypes to the heat are important for ample adaptation to environments with high temperatures stress. Objectifying to detect genetic variability for heat tolerance between genitors, segregating populations, and families of wheat; to quantify the effect of high temperatures on genotypes of wheat and; to evaluate the gains predicted with selection indexes, were lead two experiments in the experimental area of the Universidade Federal de Viçosa. The experiments had been sown on February (heat stress) and June (no heat stress) of 2007. In the first experiment $F_{2.4}$ families were evaluated and in the second one, $F_{2.5}$ families. Two hundred forty families and 16 genitors were evaluated in a square lattice design 16x16, with two replications. The characters flowering, plant height, grain yield and thousand grain weight were recorded. All evaluated characters presented reduction under high temperatures, being the grain yield the more affected character. There genetic variability for heat tolerance between genitors and wheat segregating populations. The most heat tolerant genotypes were the genitors 2 (BR 24), 3 (Aliança) and 4 (EP 93541), and the segregating populations 1 (BH1146/BR24//Aliança/EP93541), 2 (BR24/Aliança//EP93541/CPAC9662) and 3 (Aliança/EP93541//CPAC9662/Pioneiro). The simultaneous gains prediction for all the characteristics made possible, being the indexes of Mulamba and Mock, Pesek and Baker and Kempthorne and Nordskog the ones that make possible gains in the desired directions for all the characters. The bigger predict gains in plant height were made possible with the Pesek and Baker index. Desiring to get the gain maximum in grain yield, without modifying the plant height, the Kempthorne and Nordskog index is the most efficient.

INTRODUÇÃO GERAL

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um dos cereais mais produzidos no mundo e, segundo Singh e Chaudhary (2006), é a mais importante cultura alimentícia do mundo, fornecendo alimento para 36% da população global e contribuindo com 20% do total das calorias ingeridas. O consumo per capita brasileiro médio nos últimos anos ficou em torno de 57 kg/hab./ano, sendo o mundial de 96 kg/hab./ano, notando-se um consumo nacional bem aquém do mundial (AGRIANUAL, 2007).

Na safra 2007/08 foram produzidas no Brasil cerca de 3,8 milhões de toneladas de trigo, entretanto, o consumo foi de aproximadamente 10,3 milhões de toneladas (CONAB, 2007). Este déficit na produção brasileira de trigo é um fato que vem se repetindo há vários anos (AGRIANUAL, 2007), o que faz do Brasil um país altamente dependente da importação deste grão. No ano de 2005 os gastos com importação de trigo em grãos e em farinha ultrapassaram 650 milhões de dólares e no ano de 2003 este valor ultrapassou a casa de um bilhão de dólares, representando grande parte dos gastos com a importação de produtos agrícolas (AGRIANUAL, 2007).

Decisões políticas do governo, como o fortalecimento do Mercosul, erros da cadeia produtiva (sempre desarticulada) e falácias do tipo “o trigo brasileiro é de má qualidade”, também serviram para diminuir a confiança do produtor brasileiro em seu próprio produto e contribuir para a atual situação da triticultura brasileira (RODRIGUES, 2004).

Atualmente, a Região Sul do Brasil concentra mais de 90% da produção brasileira de trigo e em curto período, ou seja, concentrada numa mesma época. Isto constitui dificuldade na logística de distribuição e armazenamento, sendo um dos maiores problemas na cadeia do trigo, já que o consumo se dá ao longo do ano em todo o território nacional (BRAGAGNOLO et al., 2007).

A incômoda posição da triticultura no cenário econômico nacional faz com que instituições e agentes da cadeia produtiva (sementeiros, institutos de pesquisa públicos e privados, produtores e cooperativas) empenhem-se na busca de alternativas para aumentar e dar estabilidade à produção nacional. Políticas públicas, aumento da produtividade e acréscimo da área plantada não só nas tradicionais regiões de cultivo, mas também em novas fronteiras agrícolas, são algumas das alternativas viáveis e eficientes para aumentar a produção brasileira.

A produção em outros Estados é ainda discreta quando comparada com os dois maiores produtores, Paraná e Rio Grande do Sul, contudo, observa-se grande crescimento da produção de trigo no Cerrado nos últimos dez anos. Por exemplo, o Estado de Goiás apresentou crescimento de 563% na produção, Mato Grosso do Sul de 291%, São Paulo com aumento de 228% e Minas Gerais 225% (ROSSI e NEVES, 2004). Uma das razões para este crescimento está no fato da melhor competitividade de preço no mercado nacional para o trigo produzido no Cerrado, uma vez que a colheita nesta região se dá na entressafra da produção de trigo dos estados do sul do país e da Argentina, principal fornecedor de trigo para o Brasil. Nestas áreas, além do aspecto econômico, o trigo torna-se também uma importante opção de cultivo pela rotação de culturas para a produção de grãos e, pelo aproveitamento de sua palha no sistema de plantio direto (TRINDADE, 2005).

A produtividade média nacional na última safra foi cerca de 2100 kg/há. Porém, ocorre grande variação da produtividade nas diferentes regiões do país, tal que os maiores produtores não apresentam as maiores produtividades. Enquanto nos estados da Região Sul colhe-se entre 1800 a 2300 kg/ha, em Minas Gerais, Goiás e no Distrito Federal a produtividade média é de 4700 kg/ha (CONAB, 2007). Diferença devida, principalmente, às práticas culturais, já que na região central do Brasil a produção se dá, predominantemente, sob irrigação em pivô central (ROSSI e NEVES, 2004).

Produtores eficientes e tecnificados têm se dedicado ao cultivo do trigo sobre áreas de Cerrado na Região do Brasil-Central. As condições desta região têm assegurado boa qualidade e estabilidade da produção, principalmente na cultura irrigada, onde podem ser alcançadas produtividades superiores a 7000 kg ha⁻¹ em condições de cultivo comercial (SOUZA, 1999).

Embora apresente comprovada viabilidade técnica e econômica para a cultura do trigo, a Região do Brasil-Central apresenta alguns inconvenientes, como a acidez e o elevado teor de alumínio nos solos e, temperaturas mais elevadas durante o ciclo da cultura. Porém, a acidez e o alumínio podem ser minimizados pela correção do solo, além disso, existem cultivares tolerantes a estas condições. O mesmo não se pode dizer para a temperatura, que quando elevada constitui em sério impedimento para a planta de trigo. Fokar et al. (1998) afirmam que a temperatura alta é o maior fator de estresse ambiental limitante da produtividade na cultura do trigo.

O desenvolvimento de cultivares com tolerância ao calor tem sido uma preocupação dos melhoristas desde o início dos estudos com a cultura do trigo na Região do Brasil-Central, principalmente em cultivos de sequeiro, cujas semeaduras ocorrem no final do verão, época em que ainda há disponibilidade de chuvas (SOUZA, 1999).

Programas de melhoramento de trigo por todo o mundo almejam pela tolerância a temperaturas altas (FOKAR et al., 1998; KHANNA-CHOPRA e VISWANATHAN, 1999; WARDLAW e WRIGLEY, 1994) e de acordo com Wardlaw e Wrigley (1994), a incorporação de genes que conferem tolerância ao calor é a forma mais eficiente de aumentar a produtividade de trigo em ambientes com temperaturas elevadas.

Além da temperatura, outros fatores também podem afetar negativamente o desempenho da planta de trigo, por exemplo, o estresse hídrico (SHAH e PAULSEN, 2003; SINGH e CHAUDHARY, 2006; SOLOMON e LABUSCHAGNE, 2003). Estresses diversos podem prejudicar a produtividade das culturas e, segundo Boyer (1982), nos Estados Unidos os ambientes desfavoráveis contabilizam por mais de 94% das diferenças médias de produtividade e menos de 6% da disparidade é devida a doenças, insetos e plantas daninhas.

Diversos estudos têm sido conduzidos para o entendimento do efeito da temperatura sobre a planta de trigo, visando principalmente ao aumento da produtividade e sua manutenção em patamares elevados. Estes estudos têm sido conduzidos sob condições de alta temperatura em ambientes controlados (FOKAR et al., 1998; RANE e NAGARAJAN, 2004; SHAH e PAULSEN, 2003; YANG et al., 2002) e também a campo (CARGNIN et al., 2006a, 2006b; KHANNA-CHOPRA e VISWANATHAN, 1999; RANE e NAGARAJAN, 2004; SOUZA, 1999).

Todos estes trabalhos confirmam o efeito danoso das altas temperaturas sobre a produção de trigo. De acordo com Souza e Ramalho (2001), o estresse de calor pode afetar negativamente vários caracteres das plantas e, como consequência, reduzir a produtividade de grãos. Segundo Stone e Nicolas (1994), períodos curtos de exposição a temperaturas maiores que 35°C podem reduzir drasticamente a produção.

Agravante ao efeito negativo do calor sobre a cultura do trigo está o aquecimento global, que a cada dia se torna mais evidente, com consequências diretas sobre a produção agrícola (IPCC, 2001) e, principalmente, sobre a cultura do trigo (LAL et al., 1998; SIQUEIRA et al., 2000). Segundo relatórios do IPCC, poderá ocorrer um aumento da temperatura média do Planeta de 0,2°C por década nos próximos 20 anos,

que embora não pareça muito, é suficiente para inviabilizar a agricultura em muitas áreas (ROCHA, 2008). Desta forma, o melhoramento para estresses ambientais é extremamente interessante, sendo uma das principais medidas para se amenizar os danos causados pelo aquecimento global (ASSAD et al., 2004).

O completo entendimento da genética e fisiologia da tolerância às altas temperaturas e a existência de métodos de seleção eficientes, facilitaria o desenvolvimento de cultivares de trigo mais tolerantes ao calor (FOKAR et al., 1998). Khanna-Chopra e Viswanathan (1999) argumentam que a inexistência de métodos simples e rápidos de identificação dos genótipos tolerantes tem constituído limitações aos programas de melhoramento. Entretanto, variabilidade genética para tolerância ao calor parece não ser limitante, uma vez que esta tem sido constatada em diversos trabalhos (CARGNIN et al., 2006a, 2006b; FOKAR et al., 1998; RANE e NAGARAJAN, 2004; REYNOLDS et al., 1994; SHAH e PAULSEN, 2003; YANG et al., 2002; SOUZA, 1999).

A avaliação dos genótipos depende dos objetivos do melhorista, que buscará a melhor forma de avaliá-los para então efetuar a seleção. Quando se pensa na seleção dos genótipos para recombinação dos melhores, torna-se necessário a quantificação dos ganhos possíveis de serem obtidos. Segundo Cruz et al. (2004) a possibilidade da predição dos ganhos obtidos por uma estratégia de seleção constitui-se em uma das principais contribuições da Genética Quantitativa. Com estas informações é possível orientar de maneira mais efetiva o programa de melhoramento, predizer o sucesso do esquema seletivo adotado e decidir, com base científica, por técnicas mais eficazes.

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 uma característica para obter ganhos em outra e a seleção simultânea de caracteres ou índices de seleção, onde pratica-se a seleção em mais de uma característica de forma a se obter ganhos simultâneos em todas elas (CRUZ et al., 2004).

Na maioria das vezes, a maneira mais fácil e prática de se obter ganhos em relação a uma única característica é praticar a seleção diretamente nela. Entretanto, a seleção em apenas um caráter pode promover modificações em outros, cujo sentido e magnitude dependerão das características consideradas e da associação entre elas. Além disso, o melhoramento nem sempre visa à melhoria somente de uma característica.

Assim, deverão ser empregados outros critérios de seleção, para obter ganhos nas várias características de interesse e no sentido desejado (PAULA et al., 2002).

A resposta correlacionada ou seleção indireta pode ser interessante para se obter ganhos em caracteres de grande importância, que devido à complexidade de mensuração, identificação etc., pratica-se a seleção em caracteres auxiliares (CRUZ et al., 2004). A seleção de indivíduos que reúnem diversas características desejáveis é difícil, considerando que os efeitos da seleção para uma característica podem interferir em outras (CAVASSIM e BORÉM, 1999). Todavia, convém salientar que genótipos superiores devem reunir, simultaneamente, uma série de atributos favoráveis que lhes confirmem rendimento elevado e que satisfaça as exigências do consumidor (CRUZ et al., 2004).

A necessidade de realizar a seleção visando um conjunto de características de interesse e obter ganhos simultâneos no sentido favorável a todas elas, fez com que outros critérios baseados não apenas em uma característica ou na seleção indireta, fossem desenvolvidos (ELSTON, 1963; HAZEL, 1943; SMITH, 1936; PESEK e BAKER, 1969). Assim, torna-se evidente a importância dos índices de seleção, pois são uma alternativa eficiente e objetiva para seleção com base em um complexo de variáveis, reunindo vários atributos de interesse agrônomo (BARBOSA e PINTO, 1998; CRUZ et al., 2004).

Índices de seleção são obtidos, normalmente, como combinações lineares das medidas dos diversos caracteres, permitindo utilizar um único valor para seleção de vários caracteres simultaneamente e, assim, efetuar a seleção mais eficientemente (GARCIA e SOUZA JÚNIOR, 1999). Os índices possibilitam o melhoramento dos genótipos para o seu conjunto de características e, segundo Garcia e Souza Júnior (1999), eles são adequados a programas de seleção recorrente pelo melhoramento das populações em diversas características. Para Gebre-Mariam e Larter (1996) os índices de seleção têm sido apontados em serem mais eficientes do que a seleção de um caráter simples para aumentar o valor do agregado genotípico.

Inúmeros trabalhos têm usado os índices de seleção como critérios de seleção de genótipos, em diversas culturas (BARBOSA e PINTO, 1998; COSTA et al., 2004; CROSBIE et al., 1980; GARCIA e SOUZA JÚNIOR, 1999; GEBRE-MARIAM e LARTER, 1996; GONÇALVES et al., 2007; GRANATE et al., 2002; IQBAL et al., 2007; MAÊDA et al., 2001; OLIVEIRA et al., 1999; PAULA et al., 2002; RODRIGUEZ et al., 1998; WELLS e KOFOID, 1986).

A despeito de terem sido citados diversos trabalhos e de não serem uma técnica nova, os índices de seleção ainda são pouco explorados, sendo necessárias maiores informações a respeito de suas aplicações e eficiência seletiva.

OBJETIVOS

Detectar e explorar a variabilidade genética para tolerância ao calor entre famílias e populações segregantes de trigo;

Quantificar o efeito de altas temperaturas sobre o crescimento e desenvolvimento de genótipos de trigo;

Predizer os ganhos genéticos utilizando-se índices de seleção como critério seletivo de famílias de trigo;

Comparar a eficiência de índices de seleção em prever ganhos nos sentidos desejados, sob diferentes pesos adotados, para seleção de famílias de trigo em um programa de seleção recorrente para tolerância ao calor em trigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: Agra FNP – Instituto FNP, 2007. 515p.

ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; ZULLO JÚNIOR, J.; ÁVILA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1057-1064, nov., 2004.

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.

BOYER, J.S. Plant productivity and environment. **Science**, v.218, p.443-448, 1982.

BRAGAGNOLO, C.; SBRISSIA, G.F.; MAFIOLETTI, R.L. Triticultura brasileira - desafios e perspectivas. In: ___ **AGRIANUAL – Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: Agra FNP – Instituto FNP, 2007. p.497-498

CARGNIN, A.; SOUZA, M.A.; CARNEIRO, P.C.S.; SOFIATTI, V. Interação entre genótipos e ambientes e implicações em ganhos com seleção em trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.6, p.987-993, jun., 2006a.

CARGNIN, A.; SOUZA, M.A.; DIAS, D.C.F.S.; MACHADO, J.C.; MACHADO, C.G.; SOFIATI, V. Tolerância ao estresse de calor em genótipos de trigo na fase de germinação. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.2, p.245-251, 2006b.

CAVASSIM, J.E.; BORÉM, A. Ganhos em características morfológicas por seleção em populações de trigo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.56, n.4, 1999.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Avaliação da safra agrícola 2007/2008 – Segundo levantamento de intenção de plantio**. nov., 2007. 26p.

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, nov., 2004.

CROSBIE, T.M.; MOCK, J.J.; SMITH, O.S. Comparison of gains predicted by several selection methods for cold tolerance traits of two maize populations. **Crop Science**, Madison, v.20, n.5, p.649-655, 1980.

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

ELSTON, R.C. A weight-free index for the purpose of ranking or selection with respect to several traits at a time. **Biometrics**, North Carolina, v.19, p.85-87, 1963.

FOKAR, M.; NGUYEN, H.T.; BLUM, A. Heat tolerance in spring wheat. I. Estimating cellular thermotolerance and its heritability. **Euphytica**, Wageningen, v.104, p.1-8, 1998.

GARCIA, A.A.F.; SOUZA JÚNIOR, C.L. de. Comparação de índices de seleção não paramétricos para a seleção de cultivares. **Bragantia**, Campinas, v.58, p.253-267, 1999.

GEBRE-MARIAM, H.; LARTER, E.N. Genetic response to index selection for grain yield, kernel weight and per cent protein in four wheat crosses. **Plant Breeding**, Berlin, v.115, n.6, p.459-464, 1996.

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.

HAZEL, L.N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, Austin, v.28, p.476-490, 1943.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability**. MACCARTHY, J.J.; CANZIANI, O.F.; LEARY, N.A.; DOKKEN, D.J.; WHITE, K.S. (Ed.). Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 1032p.

IQBAL, M.; NAVABI, A.; SALMON, D.F.; YANG, R.-C.; SPANER, D. Simultaneous selection for early maturity, increased grain yield and elevated grain protein content in spring wheat. **Plant Breeding**, Berlin, v.126, p.244-250, 2007.

KHANNA-CHOPRA, R.; VISWANATHAN, C. Evaluation of heat stress tolerance in irrigated environment of *T. aestivum* and related species. I. Stability in yield and yield components. **Euphytica**, Wageningen, v.106. n.2, p.169-180, 1999.

LAL, M.; SINGH, K.K.; RATHORE, L.S.; SRINIVASAN, G.; SASEENDRAN, S.A. Vulnerability of rice and wheat yields in NW India to future changes in climate. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.89, p.101-114, 1998.

MAÊDA, J.M.; PIRES, I.O.; BORGES, R.C.G.; CRUZ, C.D. Critérios de seleção uni e multivariados no melhoramento genético da *Virola surinamensis* Warb. **Floresta e Ambiente**, v.8, n.1, p.61-69, jan./dez., 2001.

OLIVEIRA, A.C.B.; SEDIYAMA, C.S.; CRUZ, C.D. Selection for later flowering in soybean (*Glycine max* L. Merrill) F₂ populations cultivated under short day conditions. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v.22, p.243-247, 1999.

PAULA, R.C.; PIRES, I.E.; BORGES, 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.

PESEK, J.; BAKER, R.J. Desired improvement in relation to selected indices. **Canadian Journal of Plant Sciences**, Ottawa, v.49, p.803-804, 1969.

RANE, J.; NAGARAJAN, S. High temperature index – for field evaluation of heat tolerance in wheat varieties. **Agricultural Systems**, v.79, p.243-255, 2004.

REYNOLDS, M.P.; BALOTA, M.; DELGADO, M.I.B.; AMANI, I.; FISCHER, R.A. Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v.21, p.717-730, 1994.

ROCHA, M.T. Muda o clima, muda a agricultura. In: ____ **AGRIANUAL - Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: Agra FNP – Instituto FNP, 2008. p.11-13.

RODRIGUES, R. Prefácio. In: ROSSI, R.M.; NEVES, M.F. (Coord.) **Estratégias para o trigo no Brasil**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2004. p.21-23.

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

ROSSI, R.M.; NEVES, M.F. (Coord.) **Estratégias para o trigo no Brasil**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2004. 224p.

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

SINGH, G.P.; CHAUDHARY, H.B. Selection parameters and enhancement of wheat (*Triticum aestivum* L.) under different moisture stress conditions. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.5, n.5, p.894-898, 2006.

SIQUEIRA, O.J.W.; STEINMETZ, S.; FERREIRA, M.F.; COSTA, A.C.; WOZNIAK, M.A. Mudanças climáticas projetadas através dos modelos GISS e reflexos na produção agrícola brasileira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.8, n.2, p.311-320, 2000.

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

SOLOMON, K.F.; LABUSCHAGNE, M.T. Variation in water use and transpiration efficiency among durum wheat genotypes grown under moisture stress and non-stress conditions. **Journal of Agricultural Science**, v.141, p.31-41, 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, out., 2001.

STONE, P.J.; NICOLAS, M.E. Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post-anthesis heat stress. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v.21, p.887-900, 1994.

TRINDADE, M.G. Apresentação. In:___ COMISSÃO CENTRO - BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO. **Informações técnicas para a cultura de trigo na Região do Brasil - Central: safras 2005 e 2006**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2005. 85p.

WARDLAW, I.F.; WRIGLEY, C.W. Heat tolerance in temperate cereals: An overview. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v.21, p.695-703, 1994.

YANG, J.; SEARS, R.G.; GILL, B.S.; PAULSEN, G.M. Growth and senescence characteristics associated with tolerance of wheat-alien amphiploids to high temperature under controlled conditions. **Euphytica**, Wageningen, v.126, n.2, p.185-193, 2002.

WELLS, W.C.; KOFOID, K.D. Selection indices to improve an intermating population of spring wheat. **Crop Science**, Madison, v.26, n.6, p.1104-1109, nov./dec., 1986.

DESEMPENHO DE GENITORES E POPULAÇÕES SEGREGANTES DE TRIGO SOB ESTRESSE DE CALOR

Resumo - Objetivou-se com este trabalho detectar variabilidade genética para tolerância ao calor, identificar populações e genitores mais tolerantes e quantificar o efeito de altas temperaturas sobre estes genótipos de trigo. Para isto, foram conduzidos dois experimentos na área experimental da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG. Utilizou-se o delineamento látice quadrado 16x16 com duas repetições, composto por 240 famílias oriundas de oito populações segregantes (30 famílias cada), mais 16 genitores. No primeiro experimento, semeado em fevereiro de 2007 (verão), foram avaliadas famílias F_{2:4} e no segundo, em junho de 2007 (inverno), famílias F_{2:5}. Avaliaram-se os caracteres floração, altura de planta, produção de grãos e massa de mil grãos. Diferenças de temperatura da emergência ao florescimento foram determinantes nas variações das características entre os ambientes para os genótipos avaliados. Todos os caracteres avaliados apresentaram redução sob altas temperaturas, sendo a produção de grãos o caráter mais afetado, seguido da altura, floração e massa de mil grãos. Há variabilidade genética para tolerância ao calor entre genitores e populações segregantes de trigo. Os genótipos mais tolerantes ao calor foram os genitores 2 (BR 24), 3 (Aliança) e 4 (EP 93541) e as populações segregantes 1 (BH1146/BR24//Aliança/EP93541), 2 (BR24/Aliança//EP93541/CPAC9662) e 3 (Aliança/EP93541//CPAC9662/Pioneiro).

Termos para indexação: *Triticum aestivum* L., altas temperaturas, melhoramento de trigo, aquecimento global.

PERFORMANCE OF GENITORS AND WHEAT SEGREGATING POPULATIONS UNDER HEAT STRESS

Abstract – The objective of this study was to detect genetic variability for heat tolerance, to identify populations and genitors more heat tolerant and to quantify the effect of high temperatures on that wheat genotypes. Two experiments were lead in the experimental area of the Universidade Federal de Viçosa, in Viçosa-MG. The square lattice design 16x16 was used, with two replications, composed for 240 families descending from eight segregating populations (30 families each), more 16 genitors. In the first experiment, on February/2007 (summer), $F_{2,4}$ families were evaluated and in the second one, on June/2007 (winter), $F_{2,5}$ families. The characters flowering, plant height, grain yield and thousand grain weight were recorded. Differences of temperature between emergence and flowering were determining in the variations of the characteristics between environments for the evaluated genotypes. All evaluated characters presented reduction under high temperatures, being the grain yield the more affected character. There genetic variability for heat tolerance between genitors and wheat segregating populations. The most heat tolerant genotypes were the genitors 2 (BR 24), 3 (Aliança) and 4 (EP 93541), and the segregating populations 1 (BH1146/BR24//Aliança/EP93541), 2 (BR24/Aliança//EP93541/CPAC9662) and 3 (Aliança/EP93541//CPAC9662/Pioneiro).

Index terms: *Triticum aestivum* L., high temperatures, wheat breeding, global warming.

INTRODUÇÃO

O atual cenário da triticultura brasileira merece grande atenção, visto que ainda importa-se a maior parte do trigo aqui consumido (AGRIANUAL, 2007). Desta forma, ações que visem à auto-suficiência, como o aumento na produtividade, expansão da área cultivada e melhoria da qualidade do trigo nacional devem ser priorizadas.

Tradicionalmente, os estados maiores produtores de trigo no Brasil encontram-se na Região Sul, que concentra mais de 90% da produção nacional (CONAB, 2007) e onde seu cultivo se dá sob condições de temperaturas mais favoráveis na maior parte do ciclo. Porém, tem-se constatado grande avanço da área cultivada com esta cultura na região do Brasil – Central (ROSSI e NEVES, 2004), alcançando-se elevadas produtividades (SOUZA, 1999). Segundo levantamentos da CONAB (2007), estados como Goiás, Distrito Federal e Minas Gerais apresentam produtividade média acima dos 4300 kg/ha, contra uma média de pouco mais de 2000 kg/ha da Região Sul. Salienta-se, no entanto, que a produção de trigo na região central do Brasil engloba cultivo com irrigação.

O trigo é uma espécie originária de clima frio, por esta razão o seu desempenho produtivo é melhor em regiões com temperaturas mais amenas. Diversos trabalhos têm relatado o efeito negativo de temperaturas elevadas sobre a planta de trigo (CARGNIN et al., 2006a; FOKAR et al., 1998; KHANNA-CHOPRA e VISWANATHAN, 1999; LAL et al., 1998; RANE e NAGARAJAN, 2004; SHAH e PAULSEN, 2003; SOUZA e RAMALHO, 2001; YANG et al., 2002).

Temperaturas altas pode ser o maior fator de estresse ambiental limitante da produtividade de trigo, sendo a tolerância ao calor um importante objetivo nos programas de melhoramento (FOKAR et al., 1998). Segundo Souza e Ramalho (2001), o excesso de calor afeta vários caracteres das plantas e, conseqüentemente, a produtividade de grãos. A redução da produtividade pode ser devida ao acelerado desenvolvimento, acelerada senescência, aumento da respiração, redução da fotossíntese e inibição da síntese de amido no grão (KHANNA-CHOPRA e VISWANATHAN, 1999). Shah e Paulsen (2003) verificaram que a temperatura alta promoveu o declínio da fotossíntese, reduzindo a massa e o conteúdo de açúcar no grão.

O sucesso na expansão da cultura do trigo para regiões tropicais, a exemplo do Brasil - Central, só é possível com o desenvolvimento de cultivares que apresentem maior tolerância ao calor. Isto se faz necessário tendo em vista que algumas áreas ou micro-regiões apresentam temperaturas elevadas, além disso, existem áreas sujeitas a estresse térmico em cultivo de sequeiro no final do verão, quando ainda há disponibilidade de chuvas (SOUZA e RAMALHO, 2001).

Um fato que vem chamando a atenção nos últimos anos é o aquecimento global. Relatórios do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2001) apontam a diminuição da produção agrícola e extinção de animais e plantas como alguns dos prováveis impactos do aquecimento global na América Latina. Segundo Siqueira et al. (2000), os cenários climáticos futuros implicam numa redução média de 31% na produção nacional de grãos de trigo, sendo os efeitos mais depressivos projetados para a região Centro-Sul, especialmente a partir do ano de 2030. Estes autores salientam também, que no Brasil são restritas as pesquisas relacionadas aos impactos do efeito estufa na agricultura e chamam a atenção para a atual sensibilidade dos genótipos avaliados, reforçando a necessidade de linhas de pesquisa nesta área. Medidas devem ser tomadas, já que o setor agrícola é um dos mais sensíveis ao aquecimento global e mudanças climáticas associadas (LAL et al., 1998).

Para Assad et al. (2004), medidas mitigadoras do efeito estufa e o melhoramento de plantas para estresses ambientais são as principais medidas para se contornar os danos causados pelo aquecimento global. Afirmam ainda que os programas de melhoramento devam levar em consideração a possibilidade da temperatura média do ar sofrer acréscimo mínimo de 1 a 3°C.

Os resultados de possíveis variações de temperatura e outros fatores climáticos decorrentes do efeito estufa, são baseados em modelos e estão sujeitos a erros de estimação, sendo ainda bastante variados. Entretanto, não há dúvidas de que as conseqüências do efeito estufa irá se manifestar em maior ou menor magnitude, exigindo medidas para minimizar os prejuízos no futuro. Se confirmadas tais perspectivas, todo o Brasil apresentará algum grau de limitação térmica para o cultivo de trigo.

Neste contexto, objetivou-se com este trabalho detectar variabilidade genética para tolerância ao calor, identificar genitores e populações segregantes mais tolerantes e quantificar o efeito de altas temperaturas sobre estes genótipos de trigo.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a determinação do efeito de altas temperaturas sobre a cultura do trigo, foram conduzidos dois experimentos na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada no município de Viçosa, com coordenadas 20°45'14''Sul e 42°52'54''Oeste e altitude de 649 m, na Região da Zona da Mata do estado de Minas Gerais.

O primeiro experimento foi semeado no mês de fevereiro de 2007, correspondendo à estação de verão (temperaturas elevadas) e o segundo foi semeado no mês de junho de 2007, correspondendo à estação de inverno (temperaturas amenas).

Na tentativa de minimizar a influência de fatores bióticos e abióticos sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas, com exceção à temperatura como causadora de estresse por calor, os dois experimentos seguiram as mesmas recomendações de cultivo e práticas culturais de uma lavoura irrigada, conforme as Informações Técnicas para a Cultura de Trigo na Região do Brasil - Central (COMISSÃO..., 2005). Foram aplicados 250 kg.ha⁻¹ de NPK da fórmula 08-28-16 no sulco de semeadura e posteriormente foram aplicados 50 kg.ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura sob a forma de sulfato de amônio, no início do perfilhamento.

No primeiro experimento foram avaliadas famílias F_{2:4}, que após colhidas as sementes, semeou-se o experimento de inverno constituído de famílias F_{2:5}. Este procedimento foi necessário, pois não havia sementes F_{2:4} suficientes para implantação dos dois experimentos. As famílias foram oriundas de oito populações obtidas do cruzamento entre a família mais tolerante ao calor, segundo índice de Coelho (1995), de cada uma das oito populações avaliadas no primeiro ciclo de seleção recorrente. Estas oito melhores famílias (genitores) foram recombinadas segundo esquema de dialelo circulante (BEARZOTI, 1997), formando as oito populações avaliadas no atual ciclo (C₁).

Cada uma das oito populações foi representada por 30 famílias, totalizando 240, as quais foram avaliadas utilizando-se o delineamento látice quadrado 16 x 16, com duas repetições. Para completar o látice, foram utilizados os oito genitores iniciais (cultivares) mais os oito genitores que foram recombinados (famílias selecionadas do primeiro ciclo de seleção recorrente).

Os genótipos avaliados nos dois experimentos são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Genótipos avaliados nos experimentos de verão e inverno de 2007 em Viçosa-MG. São apresentados os 16 genitores e as 8 populações (30 famílias cada).

Genótipos avaliados
Genitores do C₀ (cultivares)
1. BH 1146
2. BR 24
3. Aliança
4. EP 93541
5. CPAC 9662
6. Pioneiro
7. BRS 207
8. Anahuac
Genitores C₁ (melhor família de cada população do C₀)
9. BH1146/BR24
10. BR24/Aliança
11. Aliança/EP93541
12. EP93541/CPAC9662
13. CPAC9662/Pioneiro
14. Pioneiro/BRS207
15. BRS207/Anahuac
16. Anahuac/BH1146
Populações avaliadas no C₁ (30 famílias cada)
1. BH1146/BR24//Aliança/EP93541
2. BR24/Aliança//EP93541/CPAC9662
3. Aliança/EP93541//CPAC9662/Pioneiro
4. EP93541/CPAC9662//Pioneiro/BRS207
5. CPAC9662/Pioneiro//BRS207/Anahuac
6. Pioneiro/BRS207//Anahuac/BH1146
7. BRS207/Anahuac//BH1146/BR24
8. Anahuac/BH1146//BR24/Aliança

Cada parcela foi constituída de três linhas de 3,0 m de comprimento, com espaçamento entre linhas de 18,6 cm, conferindo área útil de 1,67 m². Para a densidade de plantas desejada, foram semeadas 350 sementes aptas por m². Foram coletados dados referentes aos seguintes caracteres agronômicos: floração (dias), altura de plantas (cm), produção de grãos (g/1,67 m²) e massa de mil grãos (g).

Os dados dos caracteres avaliados nas duas épocas (verão e inverno) foram submetidos à análise de variância com o auxílio do software MSTAT (1983), conforme o seguinte modelo: $Y_{ijk} = \mu + g_i + r_j + (b/r)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$, 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 ($i = 1, 2, \dots, 256$); r_j é o efeito da repetição j ($j = 1, 2$); $(b/r)_{jk}$ é o efeito do bloco k dentro da repetição j ($k = 1, 2, \dots, 16$, para $j = 1$; $k = 17, 18, \dots, 32$, para $j = 2$); ε_{ijk} é o erro aleatório associado à observação Y_{ijk} .

A fonte de variação genótipos foi desdobrada nos seguintes efeitos: entre populações, famílias dentro de cada população, testemunhas (genitores) e o contraste famílias versus testemunhas.

Após a análise de variância de cada experimento e confirmada a homogeneidade das variâncias pela relação entre o maior e o menor quadrado médio do erro menor que 7:1 (CRUZ et al., 2004), foi realizada a análise conjunta dos experimentos. Nesta análise utilizaram-se as médias ajustadas e adotou-se o seguinte modelo:

$Y_{ilj} = \mu + g_i + a_l + b/a_{lj} + ga_{il} + \varepsilon_{ilj}$, em que: Y_{ilj} é o valor observado do genótipo i na repetição j , dentro do ambiente l ; μ é a média geral do experimento; g_i é o efeito do genótipo i ($i = 1, 2, \dots, 256$); a_l é o efeito do ambiente l ($l = 1, 2$); b/a_{lj} é o efeito da repetição j ($j = 1, 2$) dentro do ambiente l ; ga_{il} é o efeito da interação entre o genótipo i e o ambiente l ; ε_{ilj} é o erro aleatório associado à observação Y_{ilj} . Para a realização do teste F, o efeito de genótipos e da interação genótipos por ambientes foram considerados aleatórios e o efeito de ambientes fixo, conforme Cruz et al. (2004).

Foi determinada a porcentagem de redução (%R) das características no ambiente de verão em comparação com o ambiente de inverno, conforme Wardlaw et al. (1989), sendo: $\%R = (1 - \frac{P_v}{P_i}) \times 100$, em que: P_v e P_i são as médias de cada genótipo nos experimentos de verão e inverno, respectivamente, para cada um dos caracteres avaliados.

Para melhor caracterização dos efeitos da temperatura sobre a cultura do trigo, foi determinada a soma térmica ou graus-dia acumulados (GDA) em diferentes fases de desenvolvimento da cultura. Para este cálculo utilizou-se a expressão de Arnold (1959):

$$GDA = \sum_{i=1}^n (T_i - T_b), \text{ onde } T_i \text{ é a temperatura média } (^{\circ}\text{C}) \text{ do dia; } T_b, \text{ é a temperatura-base}$$

($^{\circ}\text{C}$) para a cultura do trigo; n , é o número de dias do período avaliado. Como temperatura-base adotou-se o valor de $4,5^{\circ}\text{C}$ sugerido por Fischer (1985) e adotado por Khanna-Chopra e Viswanathan (1999). Este valor é considerado a temperatura mínima para o desenvolvimento da cultura, abaixo do qual o crescimento e o desenvolvimento da planta são interrompidos ou extremamente reduzidos.

Também foram expressas as médias das temperaturas mínima, média e máxima para diferentes fases do ciclo e para todo o ciclo da cultura. Estes dados foram coletados durante o período experimental e fornecidos pelo posto meteorológico localizado na Universidade Federal de Viçosa.

Os genótipos foram classificados quanto à tolerância ao calor pelo índice de Fischer e Maurer (1978): $IFM = \frac{(1 - Y/Yp)}{D}$, em que: Y e Yp são as médias de cada genótipo nos ambientes de estresse (verão) e sem estresse (inverno), respectivamente; $D = 1 - X / Xp$, é a intensidade do estresse, sendo X a média de todos os genótipos no ambiente de estresse e Xp a média de todos os genótipos no ambiente sem estresse. Genótipos com valores de $IFM \leq 0,5$ apresentam alta tolerância ao calor; com $0,5 < IFM \leq 1,0$ têm moderada tolerância ao calor e; $IFM > 1,0$ são classificados como sensíveis ao calor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão expressas as análises de variância para os quatro caracteres avaliados nos ambientes de verão e inverno. Foram detectadas diferenças significativas entre os genótipos para todos os caracteres avaliados, tanto no ambiente de verão, quanto no de inverno. Nos desdobramentos, detectaram-se diferenças significativas entre as populações e as testemunhas para todas as características e nas duas épocas.

TABELA 2. Resumo das análises de variâncias individuais de quatro caracteres em trigo, para diferentes fontes de variação, nas épocas de verão e inverno de 2007 em Viçosa – MG.

Fontes de Variação	G.L.	Quadrados Médios			
		Floração (dias)	Altura de plantas (cm)	Produção (g/1,67m ²)	Massa de mil grãos (g)
VERÃO					
Genótipos	255	37,43**	150,89**	12445,64**	12,06**
Entre Populações	7	473,21**	1398,24**	168123,70**	42,95**
Fam./Pop.1	29	15,89**	47,05*	10299,03**	6,01**
Fam./Pop.2	29	33,84**	86,94**	12571,43**	8,71**
Fam./Pop.3	29	27,83**	101,72**	4490,23ns	11,82**
Fam./Pop.4	29	28,66**	159,28**	9253,98**	12,05**
Fam./Pop.5	29	13,14**	178,68**	6043,09ns	14,29**
Fam./Pop.6	29	19,88**	120,23**	7612,50*	18,48**
Fam./Pop.7	29	21,18**	74,23**	4872,47ns	8,12**
Fam./Pop.8	29	24,15**	66,79**	8925,42**	10,94**
Testemunhas	15	43,89**	289,55**	9158,06*	8,59**
Fam. vs Test.	1	222,00**	134,59*	1423,98ns	23,65**
Erro efetivo	225	5,39	30,30	4629,87	2,67
Média		42,86	73,01	268,60	34,504
CV (%)		5,42	7,54	25,33	4,73
Efic. Látice (%)		102,36	117,17	106,15	105,36
INVERNO					
Genótipos	255	9,01**	207,84**	16477,15**	17,91*
Entre Populações	7	64,95**	266,41**	129626,80**	75,25**
Fam./Pop.1	29	3,77**	98,04ns	7575,86ns	15,16**
Fam./Pop.2	29	4,95**	108,76ns	20476,78**	9,41*
Fam./Pop.3	29	8,49**	232,10**	11135,89*	18,97**
Fam./Pop.4	29	6,82**	235,72**	15641,95**	18,44**
Fam./Pop.5	29	6,65**	287,08**	15703,33**	20,61**
Fam./Pop.6	29	12,97**	297,84**	8711,88ns	24,73**
Fam./Pop.7	29	5,36**	179,35**	11704,91*	10,68*
Fam./Pop.8	29	9,47**	144,87**	11554,05*	11,72**
Testemunhas	15	6,81**	332,11**	21413,56**	14,83**
Fam. vs Test.	1	44,18**	223,72ns	449,47ns	54,72**
Erro efetivo	225	1,186	72,643	7221,828	5,766
Média		66,93	114,01	458,68	40,66
CV (%)		1,63	7,48	18,53	5,91
Efic. Látice (%)		102,02	102,35	117,59	101,81

** e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

ns: não significativo pelo teste F (P > 0,05).

O desdobramento de famílias dentro de cada população, que reflete o grau de variabilidade genética dentro das populações, apresentou significância para a maioria das características nos dois ambientes para a maior parte das populações. Vale chamar atenção, que para o caráter produção de grãos não foi constatada variabilidade nas populações 3, 5 e 7 na época de verão e nas populações 1 e 6 para a época de inverno. O contraste famílias versus testemunhas apresentou significância para todos os caracteres nas duas épocas, exceto para altura de plantas na época de inverno e produção de grãos nas duas épocas, indicando não haver diferenças entre estas fontes de variação nas referidas condições.

Analisando-se a eficiência do delineamento em látice em comparação ao delineamento de blocos casualizados, percebe-se que para todas as características o látice foi mais eficiente que a análise como blocos completos. A eficiência do látice é dada pela relação entre o quadrado médio do resíduo como blocos casualizados e a variância efetiva da análise em látice, sendo expressa em porcentagem (GOMES e GARCIA, 1991). Portanto, valores percentuais acima de 100% indicam o quanto o delineamento em látice foi mais eficiente que o de blocos casualizados completos.

No presente trabalho a eficiência relativa do látice variou de 101,81% a 117,59%. Embora estes valores evidenciem a maior eficiência do delineamento em látice, esta não foi considerada de grande magnitude, ou seja, este delineamento apresentou baixa eficiência. Isto ocorreu em virtude do grau de homogeneidade da área onde foram implantados os experimentos e do grau de precisão com que os experimentos foram conduzidos. De acordo com Tomé et al. (2002), no melhoramento de plantas este delineamento é muito empregado por ser eficiente para testar grande número de tratamentos, pois nestas condições fica praticamente impossível de se encontrar uma área com homogeneidade suficiente para comportar todos os tratamentos num único bloco. Cargnin (2005), também estudando o efeito de altas temperaturas na cultura do trigo encontrou eficiências variando de 100,15 a 147,36%.

Na Tabela 3 estão expressas as análises de variâncias conjuntas para os quatro caracteres avaliados. Constata-se diferença significativa entre as épocas avaliadas e a interação significativa entre os genótipos e as épocas ($P \leq 0,01$). A fonte de variação populações também apresentou interação com as épocas para todos os caracteres. Já para o desdobramento das famílias dentro das populações, os resultados foram bastante variados, alguns desdobramentos apresentaram significância para determinadas

características, mas não o foram para outras, apenas o caráter floração apresentou interação significativa para todos os desdobramentos de famílias dentro de populações.

A interação das testemunhas com as épocas apresentou significância apenas para os caracteres floração e produção de grãos. Para o contraste famílias versus testemunhas constatou-se interação com as épocas apenas para o caráter floração.

TABELA 3. Resumo das análises de variâncias conjuntas de quatro caracteres em trigo, para diferentes fontes de variação, avaliadas nas épocas de verão e inverno de 2007 em Viçosa – MG.

Fontes de Variação	G.L.	Quadrados Médios			
		Floração (dias)	Altura de plantas (cm)	Produção (g/1,67m ²)	Massa de mil grãos (g)
Épocas (E)	1	148273,56**	430377,41**	9249820,47**	9691,74**
Genótipos	255	28,69**	273,92**	19184,56**	23,24**
Entre Populações	7	252,21**	1320,36**	272914,32**	101,31**
Fam./Pop.1	29	12,80**	97,78**	8034,67ns	16,00**
Fam./Pop.2	29	24,09**	130,55**	19636,24**	12,24**
Fam./Pop.3	29	23,21**	255,67**	8646,62ns	22,09**
Fam./Pop.4	29	24,41**	319,65**	19365,49**	25,08**
Fam./Pop.5	29	14,32**	312,29**	9227,00*	24,34**
Fam./Pop.6	29	27,20**	306,85**	8803,08ns	34,46**
Fam./Pop.7	29	19,41**	181,22**	9604,89*	13,65**
Fam./Pop.8	29	24,38**	180,09**	9671,24*	19,56**
Testemunhas	15	26,18**	567,79**	18989,28**	19,08**
Fam. vs Test.	1	232,13**	352,69**	136,70ns	75,17**
Genótipos x Épocas	255	17,75**	84,81**	9738,23**	6,73**
Entre Populações x E	7	285,93**	344,28**	24836,13**	16,89**
Fam./Pop.1 x E	29	6,85**	47,30ns	9840,22*	5,17ns
Fam./Pop.2 x E	29	14,69**	65,15ns	13411,97**	5,88ns
Fam./Pop.3 x E	29	13,11**	78,15*	6979,49ns	8,69**
Fam./Pop.4 x E	29	11,08**	75,34ns	5530,45ns	5,42ns
Fam./Pop.5 x E	29	5,47*	153,47**	12519,42**	10,55**
Fam./Pop.6 x E	29	5,65*	111,23**	7521,30ns	8,75**
Fam./Pop.7 x E	29	7,13**	72,36ns	6972,49ns	5,15ns
Fam./Pop.8 x E	29	9,24**	31,58ns	10808,23**	3,09ns
Testemunhas x E	15	24,54**	53,88ns	11582,34*	4,35ns
Fam. vs Test. x E	1	33,93**	5,53ns	1736,66ns	3,18ns
Erro efetivo médio	450	3,29	51,47	5925,85	4,22
Média		54,89	93,51	363,64	37,58
CV (%)		3,30	7,67	21,17	5,46

** e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

ns: não significativo pelo teste F (P > 0,05).

Quanto à precisão dos experimentos, percebe-se pelas Tabelas 2 e 3 que os coeficientes de variação (CV) encontram-se dentro de níveis aceitáveis. Os caracteres floração (FLO), altura de plantas (ALT) e massa de mil grãos (MMG) apresentaram CVs de baixa magnitude, variando de 1,63% a 7,67%, considerando os dois ambientes e a análise conjunta. Apenas o caráter produção de grãos (PRO) apresentou uma maior magnitude, onde o CV no ambiente de verão foi de 25,33%, de 18,53% no ambiente de

inverno e de 21,17% na análise conjunta, no entanto, estes valores encontram-se dentro de níveis aceitáveis (LÚCIO et al., 1999), visto que este caráter sofre influência de todos os outros.

Na verdade, esta precisão é reflexo do manejo dos experimentos, os quais receberam os mesmos tratos culturais e irrigação sempre que necessária. 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).

As características FLO, ALT, PRO e MMG apresentaram médias de 43 dias, 73cm, 269 g/1,67 m² e 35 g para o ambiente de verão e médias de 67 dias, 114cm, 459 g/1,67 m² e 41 g para o ambiente de inverno, respectivamente.

Todos os caracteres apresentaram redução quando se comparou a condição de verão em relação ao inverno. As porcentagens de redução (%R) expressas na Tabela 4, para os genitores e populações não foram coincidentes, pois alguns apresentaram maior %R que outros nos diferentes caracteres. Não se deve considerar a %R isoladamente para avaliação dos genótipos, pois muitas vezes a diferença entre o valor do caráter no ambiente de estresse e no ambiente sem estresse é pequena, o que indicará uma pequena %R, porém a média do genótipo também é baixa (SOUZA e RAMALHO, 2001).

Khanna-Chopra e Viswanathan (1999) verificaram que os genótipos com elevada regularidade da produção sob condição de estresse apresentaram modesta produtividade, indicando que maior resistência ao estresse pode estar associada com média baixa. Para Cargnin (2005), genótipos com esse tipo de comportamento apresentam alta adaptabilidade a ambientes específicos (ambiente de verão), mas não respondem à melhoria do ambiente (inverno).

Deve-se buscar por genótipos com baixa %R, mas associada com médias de produção alta, ou seja, tolerantes e responsivos, exceto para os caracteres FLO e ALT, onde o desejável são plantas mais precoces e baixas, devido à menor permanência no campo, ficando menos expostas às chuvas no período de colheita e, menor susceptibilidade ao acamamento, respectivamente. As reduções médias das características foram de 34,2% para FLO, 36,3% para ALT, 38,8% para PRO e 14,6% para MMG. Em geral, as médias de redução foram semelhantes entre as populações e os genitores (Tabela 4).

TABELA 4. Porcentagens de redução (%R) da condição de verão em relação ao inverno, para floração (FLO), altura de plantas (ALT), produção (PRO) e massa de mil grãos (MMG) de dezesseis genitores (testemunhas) e oito populações segregantes de trigo.

Genótipos ²	Variáveis (%R) ¹			
	FLO (dias)	ALT (cm)	PRO (g/1,67m ²)	MMG (g)
Genitores				
1. BH 1146	30,9 (6)	34,4 (6)	59,1 (15)	22,5 (12)
2. BR 24	29,3 (4)	24,9 (1)	23,7 (5)	15,0 (8)
3. Aliança	35,5 (9)	26,7 (2)	27,7 (6)	13,1 (3)
4. EP 93541	36,1 (10)	37,3 (9)	51,9 (13)	14,5 (6)
5. CPAC 9662	44,7 (16)	41,5 (14)	50,6 (11)	15,7 (9)
6. Pioneiro	42,5 (15)	41,0 (13)	40,2 (7)	9,5 (16)
7. BRS 207	32,9 (7)	38,8 (11)	3,5 (1)	6,1 (14)
8. Anahuac	36,3 (11)	34,8 (8)	44,9 (9)	10,3 (1)
Média	36,0	34,9	37,7	13,3
Populações				
9. BH1146/BR24	29,8 (5)	39,4 (12)	60,4 (16)	16,1 (10)
10. BR24/Aliança	22,2 (2)	34,5 (7)	51,8 (12)	13,4 (4)
11. Aliança/EP93541	34,3 (8)	32,8 (4)	45,3 (10)	22,9 (13)
12. EP93541/CPAC9662	36,6 (12)	30,5 (3)	52,9 (14)	11,4 (2)
13. CPAC9662/Pioneiro	37,4 (13)	48,8 (16)	15,8 (3)	9,2 (15)
14. Pioneiro/BRS207	16,6 (1)	45,9 (15)	11,7 (2)	14,7 (7)
15. BRS207/Anahuac	37,7 (14)	38,0 (10)	16,0 (4)	21,2 (11)
16. Anahuac/BH1146	29,2 (3)	34,1 (5)	40,6 (8)	13,9 (5)
Média	30,5	38,0	36,8	15,4
Populações				
1. BH1146/BR24//Aliança/EP93541	30,9 (2)	31,7 (1)	29,5 (1)	13,1 (1)
2. BR24/Aliança//EP93541/CPAC9662	32,7 (3)	31,7 (1)	35,9 (2)	14,2 (3)
3. Aliança/EP93541//CPAC9662/Pioneiro	38,7 (5)	36,9 (4)	39,7 (3)	14,1 (2)
4. EP93541/CPAC9662//Pioneiro/BRS207	39,5 (7)	37,5 (5)	44,8 (6)	14,9 (5)
5. CPAC9662/Pioneiro//BRS207/Anahuac	41,7 (8)	39,7 (6)	44,0 (5)	14,4 (4)
6. Pioneiro/BRS207//Anahuac/BH1146	39,2 (6)	40,7 (7)	53,9 (8)	17,9 (8)
7. BRS207/Anahuac//BH1146/BR24	36,5 (4)	34,9 (3)	41,5 (4)	15,5 (6)
8. Anahuac/BH1146//BR24/Aliança	29,8 (1)	34,7 (2)	46,0 (7)	17,0 (7)
Média	36,1	35,9	41,9	15,2

¹Valores entre parênteses referem-se à classificação dos percentuais de redução.

A redução no caráter floração é reflexo da redução do ciclo da cultura (Tabela 5) sob condições de temperatura elevada. De acordo com Lal et al. (1998), estudando o efeito de mudanças climáticas sobre as culturas de trigo e arroz na Índia, altas temperaturas podem acelerar o desenvolvimento das plantas e encurtar o período de crescimento, afetando a fenologia da cultura e a produção de matéria seca. Com menor permanência no campo (encurtamento do ciclo), menor é a produtividade, sendo este um dos motivos da redução da produtividade agrícola sob atmosfera mais quente.

O caráter PRO apresentou maior %R (38,8), enquanto a MMG foi o caráter que apresentou menor %R (14,6). Isto indica que na condição de estresse térmico do experimento, o número de grãos por espiga pode ter mais influência sobre a produção final do que o peso destes. Yang et al. (2002), também avaliando a cultura do trigo sob altas temperaturas, verificaram que o peso médio de grãos declinou de 55,6 para 27,9 mg quando a temperatura foi elevada de 20/15 °C (dia/noite) para 30/25°C(dia/noite), redução de 49,8%. Já Cargnin (2005) constatou redução média de 27,5% para este mesmo caráter. Percebe-se que este caráter é fortemente influenciado pela temperatura.

De fato, a síntese de amido no endosperma é interrompida pela inibição de diversas enzimas sob temperaturas altas, resultando em grãos com pontos esbranquiçados e foscos (CALEY et al., 1990) e, conseqüentemente, de menor massa.

Para produção de grãos, Khanna-Chopra e Viswanathan (1999) encontraram 33,9% de redução quando compararam ambientes sem e com estresse de calor, valor semelhante ao encontrado no presente trabalho. Já Yang et al. (2002) verificaram que a média de produção de grãos reduziu de 1,51 para 0,69 g/espiga entre 20/15°C (dia/noite) e 30/25°C (dia/noite), respectivamente, correspondendo a 54,3% de redução.

Resultado semelhante foi encontrado num estudo sobre a influência do aquecimento global na cultura do trigo, onde 4°C de aumento na temperatura do ar, acima da média do ambiente, promoveu redução de 54% da produção, considerando-se as demais condições ambientais constantes (LAL et al., 1998).

Um questionamento que pode ser feito diz respeito ao efeito do fotoperíodo sobre o comportamento dos genótipos, uma vez que em fevereiro (semeadura de verão) o comprimento do dia é maior do que no mês de junho (semeadura de inverno). De fato, isto pode ocorrer, porém, percebe-se pela análise da Tabela 5 que os genótipos apresentaram valores médios de graus-dia acumulados (GDA) semelhantes, considerando-se a mesma fase fenológica nas duas épocas avaliadas (verão e inverno), já que as diferenças constatadas entre as duas épocas para GDA não foram elevadas. Porém, percebe-se grande diferença na duração das fases, principalmente para florescimento. Em contrapartida, ocorreu pequena variação quanto a GDA, ou seja, as plantas só floresceram quando apresentaram certo valor de GDA, não sendo influenciadas pelo fotoperíodo, mas sim pela soma térmica.

Este é um indicativo de que as plantas necessitam de determinada quantidade de GDA para completar seus estádios fenológicos, estando o comprimento do ciclo em função do atendimento destas necessidades. Yang et al. (2002) obtiveram resultados

semelhantes, pois quando promoveram o aumento da temperatura de 20/15°C para 30/25°C (dia/noite) constataram diminuição do conteúdo de clorofila da folha bandeira e redução na duração do enchimento de grãos de 28,6 para 14,1 dias.

TABELA 5. Temperaturas médias (média, mínima e máxima), duração e graus-dia em diferentes fases de desenvolvimento de plantas de trigo no verão e inverno de 2007 em Viçosa – MG.

Fases do ciclo	Verão (a)	Inverno (b)	b - a
Emergência - Início do Perfilhamento			
Temperatura (°C)			
Média	22,3	16,2	-6,1
Mínima	17,6	10,7	-7,0
Máxima	29,7	25,0	-4,7
Duração do período (dias)	12	15	3
Duração acumulada (dias)	12	15	3
Graus-dia no período	213	175	-38
Graus-dia acumulados	213	175	-38
Início do Perfilhamento - Florescimento			
Temperatura (°C)			
Média	22,4	17,1	-5,3
Mínima	18,1	11,2	-6,9
Máxima	29,6	25,9	-3,7
Duração do período (dias)	31	52	21
Duração acumulada (dias)	43	67	24
Graus-dia no período	554	657	103
Graus-dia acumulados	767	832	65
Florescimento - Maturação			
Temperatura (°C)			
Média	18,7	20,1	1,4
Mínima	14,2	14,3	0,1
Máxima	26,0	27,9	1,9
Duração do período (dias)	52	50	-2
Duração acumulada (dias)	95	117	22
Graus-dia no período	739	778	39
Graus-dia acumulados	1506	1610	104
Ciclo total			
Temperatura (°C)			
Média	21,1	17,8	-3,3
Mínima	16,6	12,1	-4,5
Máxima	28,4	26,3	-2,1
Duração (dias)	95	117	22
Graus-dia	1506	1610	104

A elevação da temperatura aumentou o total de graus-dia acumulados pelas plantas, necessitando de menos dias para atender às exigências de soma térmica. Este fato indica que sob temperaturas mais elevadas as plantas de trigo acumulam maior quantidade de graus-dia em menor tempo. Se essa temperatura é demasiadamente alta para o adequado metabolismo da planta, este maior acúmulo se dará sob condições de estresse para a mesma e, conseqüentemente, promoverá redução na produção, altura de plantas, ciclo etc.. De acordo com Pedro Júnior et al. (2004), a temperatura do ar tem influência na duração do ciclo por torná-lo mais longo em plantios efetuados em épocas mais frias.

Souza e Ramalho (2001) também não constataram influência de fotoperíodo sob plantas de trigo, pois os genótipos avaliados apresentaram floração sob semelhantes somas térmicas, com e sem estresse de calor. Segundo Rodrigues (2000), citado por Pedro Júnior et al. (2004), as cultivares de trigo no País apresentam pouca ou nenhuma resposta ao fotoperíodo sendo os processos de desenvolvimento das plantas controlados, principalmente, pela temperatura.

Considerando-se as diferentes fases fenológicas, foram necessários na média dos ambientes, 194 graus-dia da emergência ao início do perfilhamento, 606 graus-dia do início do perfilhamento ao florescimento, 758 graus-dia do florescimento à maturação e 1558 graus-dia para todo o ciclo. Hamada e Pinto (2001) trabalhando com a cultivar de trigo Tucuruí (IAC-24) em experimento conduzido no município de Paranapanema-SP, verificaram uma necessidade de 324 graus-dia até o perfilhamento, 587 até o espigamento, 667 até a maturação e 1858 para todo o ciclo. Estes valores foram semelhantes aos obtidos no presente trabalho, exceto para os graus-dia necessários até o perfilhamento e ciclo total, porém, no trabalho de Hamada e Pinto está incluso no ciclo a necessidade de graus-dia da sementeira à emergência, que foi de 291 graus-dia.

Um dos métodos mais utilizados para relacionar a temperatura do ar com o desenvolvimento e/ou crescimento das plantas é o da soma térmica ou graus-dia acumulados, uma vez que graus-dia independe da época e do local de plantio, sendo uma ferramenta importante para planejamento do cultivo (PRELA e RIBEIRO, 2002). Segundo Hamada e Pinto (2001), há poucos estudos utilizando método dos graus-dia a fim de estimar a duração das fases fenológicas de trigo no Brasil, sendo oportunos estes estudos como subsídios aos trabalhos de zoneamento agrícola.

Não ocorreram diferenças acentuadas entre as médias de temperatura na fase de florescimento-maturação nas duas épocas avaliadas. Este fato indica que as plantas de trigo sofreram estresses térmicos semelhantes na fase de enchimento de grãos (florescimento-maturação), não sendo esta fase a determinante das diferenças de produtividade dos genótipos entre os dois ambientes. Desta forma, as notáveis diferenças entre as duas épocas se devem, principalmente, aos estresses térmicos sofridos nas fases iniciais, ou seja, da sementeira ao florescimento. Estudos de Cargnin et al. (2006b) revelaram que altas temperaturas podem prejudicar a planta de trigo já na fase de germinação.

É sabido, porém, que a fase de enchimento de grãos também é altamente sensível a estresse por calor, visto que este pode afetar o peso e a qualidade dos grãos (KHANNA-CHOPRA e VISWANATHAN, 1999). Quando a temperatura alta é aumentada subitamente (33 - 40°C) por cerca de quatro dias no enchimento de grãos, a produtividade pode declinar aproximadamente 23% (STONE e NICOLAS, 1994).

Alguns trabalhos têm concentrado esforços em nível celular (FOKAR et al., 1998), baseados na premissa de que genótipos que têm maior termoestabilidade da membrana celular apresentam menores reduções na produtividade. De acordo com Lin et al. (1985), células de plantas expostas ao calor podem sofrer ruptura da membrana, aparentemente relacionada com temperaturas específicas que promovem mudanças na bicamada lipídica da membrana celular, esta ruptura pode ter impactos na atividade fotossintética e mitocondrial e até na redução da habilidade da plasmalema em reter solutos.

Na Tabela 6 são apresentadas as médias de todos os caracteres para genitores e populações nos dois ambientes, o resultado do teste de agrupamento de médias de Scott e Knott e os valores do índice de tolerância ao calor de Fischer e Maurer (IFM) para produção de grãos.

Para os genitores foram formados diferentes grupos, para todos os caracteres avaliados nos dois ambientes. Já para as populações, apenas o caráter floração apresentou grupos diferentes no ambiente de verão, para os demais caracteres nos dois ambientes e floração no ambiente de inverno foi constatado um único grupo (Tabela 6), apesar de ter sido constatada variabilidade genética entre as populações pelo teste F (Tabelas 2 e 3).

TABELA 6. Médias para os caracteres floração (FLO), altura (ALT), massa de mil grãos (MMG), produção de grãos (PRO) e índice de tolerância ao calor para produção (IFM) de dezesseis genitores e oito populações segregantes de trigo nas épocas de verão (Ver.) e inverno (Inv.) de 2007 em Viçosa-MG.

Genótipos ²	Variáveis ¹								
	FLO (dias)		ALT (cm)		MMG (g)		PRO (g/1,67m ²)		IFM ³
	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	
Genitores									
1	44,9 b	64,9 c	89,2 a	136,1 a	33,1 b	42,7 a	214,4 b	524,2 a	1,43
2	48,1 b	67,9 b	91,5 a	121,8 b	32,3 b	37,9 b	386,7 a	506,6 a	0,57
3	43,9 b	68,1 b	81,7 b	111,4 b	33,4 b	38,5 b	388,2 a	536,7 a	0,67
4	42,3 b	66,2 c	71,6 b	114,2 b	34,0 a	39,8 a	327,4 a	680,3 a	1,25
5	37,9 c	68,7 b	51,9 d	88,8 c	34,2 a	40,5 a	207,9 b	421,1 b	1,22
6	38,9 c	67,6 b	57,8 d	97,9 c	31,9 b	35,2 b	250,9 b	419,9 b	0,97
7	47,7 b	71,0 a	71,0 b	115,9 b	33,2 b	35,4 b	309,4 a	320,7 b	0,09
8	44,3 b	69,4 b	67,0 c	102,7 c	31,1 b	34,7 b	207,7 b	376,8 b	1,08
9	46,4 b	66,1 c	79,0 b	130,5 a	36,6 a	43,6 a	230,9 b	583,2 a	1,46
10	52,9 a	67,9 b	76,3 b	116,5 b	36,1 a	41,6 a	251,1 b	520,8 a	1,25
11	44,4 b	67,6 b	78,4 b	116,5 b	31,8 b	41,3 a	231,8 b	423,8 b	1,09
12	43,3 b	68,4 b	65,5 c	94,2 c	35,3 a	39,9 a	215,7 b	457,6 b	1,28
13	43,2 b	69,1 b	51,3 d	100,1 c	35,8 a	39,4 a	248,6 b	295,1 b	0,38
14	57,1 a	68,5 b	62,2 c	115,1 b	34,6 a	40,5 a	406,3 a	459,9 b	0,28
15	44,9 b	71,9 a	63,7 c	102,8 c	29,2 b	37,1 b	258,3 b	307,4 b	0,39
16	46,4 b	65,6 c	78,2 b	118,7 b	36,1 a	42,0 a	265,5 b	446,9 b	0,98
Populações									
1	46,9 a	67,9 a	78,6 a	115,2 a	34,7 a	39,9 a	343,1 a	486,3 a	0,71
2	45,1 a	67,1 a	79,6 a	116,7 a	36,3 a	42,3 a	335,2 a	522,9 a	0,87
3	41,1 b	67,1 a	71,8 a	113,7 a	33,9 a	39,5 a	276,8 a	459,0 a	0,96
4	40,5 b	66,9 a	70,6 a	112,9 a	34,8 a	40,9 a	260,2 a	470,9 a	1,08
5	39,4 b	67,5 a	66,4 a	110,1 a	33,9 a	39,7 a	208,3 a	372,2 a	1,06
6	40,3 b	66,3 a	67,9 a	114,6 a	33,9 a	41,2 a	192,2 a	417,4 a	1,30
7	42,8 b	67,4 a	74,1 a	113,8 a	33,9 a	40,1 a	265,9 a	454,4 a	1,00
8	45,3 a	64,6 a	76,1 a	116,5 a	35,1 a	42,3 a	263,6 a	488,3 a	1,11

¹Médias seguidas de mesma letra na coluna e no mesmo ambiente, para genitores e populações, pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott ao nível de 5% de probabilidade.

²Genitores: 1. BH1146; 2. BR24; 3. Aliança; 4. EP93541; 5. CPAC9662; 6. Pioneiro; 7. BRS207; 8. Anahuac; 9. BH1146/BR24; 10. BR24/Aliança; 11. Aliança/EP93541; 12. EP93541/CPAC9662; 13. CPAC9662/Pioneiro; 14. Pioneiro/BRS207; 15. BRS207/Anahuac; 16. Anahuac/BH1146. Populações: 1. BH 1146 / BR 24 // Aliança / EP 93541; 2. BR 24 / Aliança // EP 93541 / CPAC 9662; 3. Aliança / EP93541 // CPAC 9662 / Pioneiro; 4. EP 93541 / CPAC 9662 // Pioneiro / BRS 207; 5. CPAC 9662 / Pioneiro // BRS 207 / Anahuac; 6. Pioneiro / BRS 207 // Anahuac / BH 1146; 7. BRS 207 / Anahuac // BH 1146 / BR 24; 8. Anahuac / BH 1146 // BR 24 / Aliança.

³IFM = índice de Fischer e Maurer (1978). IFM ≤ 0,5: alta tolerância ao calor; 0,5 < IFM ≤ 1,0: moderada tolerância ao calor; IFM > 1,0: sensibilidade ao calor.

Para classificar o desempenho dos genitores e populações frente ao estresse de calor, foi determinado o IFM para os caracteres produção e massa de mil grãos, uma vez, que a produção e seus componentes são frequentemente usados como critério de seleção para tolerância ao calor (KHANA-CHOPRA e VISWANATHAN, 1999; REYNOLDS et al., 1994).

Os valores do índice de Fischer e Maurer (IFM) para produção não foram coincidentes com os obtidos para massa de mil grãos quanto à classificação dos genótipos, pois apresentaram baixo coeficiente de correlação de Spearman ($r = 0,34$). Como já dito anteriormente, as temperaturas médias da fase de floração até a maturação foram semelhantes entre as épocas, o que significa que as condições térmicas foram semelhantes durante o enchimento de grãos. Por isso, outros componentes da produção, como número de grãos por espiga, teve maior peso na definição da produção de grãos. Desta forma, o IFM utilizando o caráter MMG não constituiu boa opção para se avaliar o estresse térmico sofrido pelas plantas.

Na Tabela 7 estão expressas as correlações entre o IFM e produção de grãos e a massa de mil grãos. Percebe-se que a produção de grãos no verão apresentou maior valor de correlação com o IFM ($-0,732$; $P \leq 0,01$) do que a massa de mil grãos ($-0,432$; $P \leq 0,01$). Constata-se correlação negativa entre o índice e a respectiva característica no verão e positiva no inverno. Este fato já era esperado, pois quanto menor o valor do índice, maior é a tolerância do genótipo ao calor, ou seja, à medida que o valor do índice diminui a produtividade no ambiente de estresse deve aumentar. Já a correlação positiva com o valor das características no ambiente de inverno deve-se ao fato de que o índice leva em consideração de que não haja grandes variações entre as médias nos ambientes com e sem estresse. Cargnin et al. (2006a) e Yang et al. (2002) trabalhando com este mesmo índice para produção, obtiveram correlações no mesmo sentido, porém em magnitudes diferentes às do presente trabalho.

TABELA 7. Coeficiente de correlação de Pearson entre o índice de tolerância ao calor (IFM) e as características produção e massa de mil grãos, nos ambientes de verão e inverno.

Caráter	Época	IFM
Produção	Verão	$-0,732^{**}$
	Inverno	$0,368^{**}$
Massa de mil grãos	Verão	$-0,432^{**}$
	Inverno	$0,501^{**}$

** : significativo a 1% de probabilidade pelo Teste t.

Analisando-se as médias de produção expostas na Tabela 6, observa-se que os genótipos mais tolerantes ao calor e com desempenho superior também no inverno, foram os genitores 2 (BR 24), 3 (Aliança) e 4 (EP 93541). Entretanto, ao analisar o IFM, nota-se certa incoerência, pois dentre os genótipos supracitados nenhum deles foi classificado como altamente tolerante ao calor, apenas como moderadamente tolerantes

e até como sensível ao calor, caso do genitor 4. Entre as populações segregantes não foram formados grupos de genótipos para o caráter produção, sendo assim, além da média foi comparado também os valores do IFM. Desta forma, as populações mais tolerantes ao calor foram a 1, 2 e 3, que foram classificadas como moderadamente tolerantes ao calor.

Outros genótipos classificados como altamente tolerantes não apresentaram médias superiores nos dois ambientes, caso do genitor 7, que apresentou o menor valor de IFM (0,09). De fato, a forma como este índice é concebido pode levar a tais distorções, pois quanto menor for a variação das médias do genótipo entre os ambientes contrastantes, menor é o valor do índice e o genótipo é classificado como tolerante, não levando em consideração a magnitude das médias.

Apesar das limitações do IFM, estas não inviabilizam o seu uso, todavia, deve-se ter cautela ao utilizá-lo. Ao se utilizar o IFM na seleção de genótipos, recomenda-se associar os valores da tal índice com a análise das médias, ou algum outro critério seletivo pertinente aos propósitos do estudo. Alguns trabalhos utilizaram este índice sem maiores problemas (KHANNA CHOPRA e VISWANATHAN, 1999; YANG et al., 2002).

TABELA 8. Percentual de famílias dentro de cada população classificadas quanto à tolerância ao calor pelo índice de Fischer e Maurer (IFM) para produção de grãos.

Populações	% ¹		
	IFM ≤ 0,5	0,5 < IFM ≤ 1,0	IFM > 1,0
1. BH1146/BR24//Aliança/EP93541	36,67	36,67	26,67
2. BR24//Aliança//EP93541//CPAC9662	23,33	46,67	30
3. Aliança//EP93541//CPAC9662//Pioneiro	6,67	63,33	30
4. EP93541//CPAC9662//Pioneiro//BRS207	3,33	33,33	63,33
5. CPAC9662//Pioneiro//BRS207//Anahuac	16,67	36,67	46,67
6. Pioneiro//BRS207//Anahuac//BH1146	3,33	20	76,67
7. BRS207//Anahuac//BH1146//BR24	13,33	36,67	50
8. Anahuac//BH1146//BR24//Aliança	10	26,67	63,33

¹IFM ≤ 0,5: alta tolerância ao calor; 0,5 < IFM ≤ 1,0: moderada tolerância ao calor; IFM > 1,0: sensibilidade ao calor.

Na Tabela 8 encontram-se os percentuais de famílias dentro de cada população classificadas quanto à tolerância ao calor pelo IFM para produção. As populações 1, 2 e 3 foram as que apresentaram o maior número de famílias classificadas como tolerantes ou moderadamente tolerantes ao calor, corroborando com os menores valores de IFM obtidos por estas populações (Tabela 6). Já as populações 4, 6 e 8 apresentaram mais de 63% das famílias classificadas como susceptíveis à altas temperaturas.

Diante dos já perceptíveis cenários de aquecimento global, a grande expansão da triticultura no Cerrado e dada à grande dependência nacional da importação de trigo, a detecção e exploração da variabilidade genética para tolerância ao calor torna-se importantíssima para a autonomia brasileira na produção deste grão.

CONCLUSÕES

Há variabilidade genética para tolerância ao calor entre genitores e populações segregantes de trigo;

Diferenças de temperatura entre as fases de emergência ao florescimento foram determinantes nas variações das características entre os ambientes para os genótipos avaliados;

Todos os caracteres avaliados apresentaram redução sob altas temperaturas, sendo a produção de grãos o caráter mais afetado, seguido da altura, floração e massa de mil grãos;

Os genótipos mais tolerantes ao calor foram os genitores 2 (BR 24), 3 (Aliança) e 4 (EP 93541) e as populações segregantes 1 (BH1146/BR24//Aliança/EP93541), 2 (BR24/Aliança//EP93541/CPAC9662) e 3 (Aliança/EP93541//CPAC9662/Pioneiro).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: Agra FNP – Instituto FNP, 2007. 515p.

ARNOLD, C.Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, n.74, p.430-445, 1959.

ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; ZULLO JÚNIOR, J.; ÁVILA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1057-1064, nov., 2004.

BEARZOTI, E. **Simulação de seleção recorrente assistida por marcadores moleculares em espécies autógamas**. 1997. 230p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1997.

CALEY, C.Y.; DULFUS, C.M.; JEFFCOAT, B. Effects of elevated temperature and reduced water uptake on enzymes of starch synthesis in developing wheat grains. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v.17, p.431-439, 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.

CARGNIN, A.; SOUZA, M.A.; CARNEIRO, P.C.S.; SOFIATTI, V. Interação entre genótipos e ambientes e implicações em ganhos com seleção em trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.6, p.987-993, jun., 2006a.

CARGNIN, A.; SOUZA, M.A.; DIAS, D.C.F.S.; MACHADO, J.C.; MACHADO, C.G.; SOFIATI, V. Tolerância ao estresse de calor em genótipos de trigo na fase de germinação. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.2, p.245-251, 2006b.

COELHO, A.S.G. **Critérios de seleção para tolerância ao déficit hídrico em uma população de milho (*Zea mays* L.)**. 1995. 77p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1995.

COMISSÃO CENTRO - BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO. **Informações técnicas para a cultura de trigo na Região do Brasil - Central: safras 2005 e 2006**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2005. 85p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Avaliação da safra agrícola 2007/2008 – Segundo levantamento de intenção de plantio**. nov., 2007. 26p.

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, nov., 2004.

FISCHER, R.A. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. **Journal of Agricultural Science**, v.105, p.447-461, 1985.

FISCHER, R.A.; MAURER, R. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.29, p.897-907, 1978.

FOKAR, M.; NGUYEN, H.T.; BLUM, A. Heat tolerance in spring wheat. I. Estimating cellular thermotolerance and its heritability. **Euphytica**, Wageningen, v.104, p.1-8, 1998.

GOMES, F.P.; GARCIA, C.H. Experimentos em látice: planejamento e análise por meio de “pacotes” estatísticos. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.7, n.23, p.1-69, dez. 1991.

HAMADA, E.; PINTO, H.S. Avaliação do desenvolvimento do trigo utilizando medidas radiométricas em função de graus-dia. In: SBSR, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p.95-101.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability**. MACCARTHY, J.J.; CANZIANI, O.F.; LEARY, N.A.; DOKKEN, D.J.; WHITE, K.S. (Ed.). Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 1032p.

KHANNA-CHOPRA, R.; VISWANATHAN, C. Evaluation of heat stress tolerance in irrigated environment of *T. aestivum* and related species. I. Stability in yield and yield components. **Euphytica**, Wageningen, v.106. n.2, p.169-180, 1999.

LAL, M.; SINGH, K.K.; RATHORE, L.S.; SRINIVASAN, G.; SASEENDRAN, S.A. Vulnerability of rice and wheat yields in NW India to future changes in climate. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.89, p.101-114, 1998.

LIN, C-Y.; CHEN, Y-M; KEY, J.L. Solute leakage in soybean seedlings under various heat shock regimes. **Plant Cell Physiology**, v.26, p.1493-1498, 1985.

LÚCIO, A.D.; STORCK, L.; BANZATTO, D.A. Classificação dos experimentos de competição de cultivares quanto a sua precisão. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.5, n.1, p.99-103, 1999.

MSTAT. **Microcomputer statistical program**. Michigan: Michigan State University, 1983.

PEDRO JÚNIOR, M.J.; CAMARGO, M.B.P.; MORAES, A.V.C.; FELÍCIO, J.C.; CASTRO, J.L. Temperatura-base, graus-dia e duração do ciclo para cultivares de triticale. **Bragantia**, Campinas, v.63, n.3, p.447-453, 2004.

PRELA, A.; RIBEIRO, A.M.A. Determinação de graus-dia acumulados e sua aplicação no planejamento do cultivo de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) para Londrina-PR. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.1, p.83-86, 2002.

RANE, J.; NAGARAJAN, S. High temperature index – for field evaluation of heat tolerance in wheat varieties. **Agricultural Systems**, v.79, p.243-255, 2004.

REYNOLDS, M.P.; BALOTA, M.; DELGADO, M.I.B.; AMANI, I.; FISCHER, R.A. Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v.21, p.717-730, 1994.

ROSSI, R.M.; NEVES, M.F. (Coord.) **Estratégias para o trigo no Brasil**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2004. 224p.

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

SIQUEIRA, O.J.W.; STEINMETZ, S.; FERREIRA, M.F.; COSTA, A.C.; WOZNIAK, M.A. Mudanças climáticas projetadas através dos modelos GISS e reflexos na produção agrícola brasileira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.8, n.2, p.311-320, 2000.

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, out., 2001.

STONE, P.J.; NICOLAS, M.E. Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post-anthesis heat stress. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v.21, p.887-900, 1994.

TOMÉ, M.A.; BUENO FILHO, J.S.S.; FERREIRA, D.F. Blocos fixos ou aleatórios? O caso dos ensaios em látice no melhoramento vegetal. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.26, n.3, p.576-584, mai./jun., 2002.

WARDLAW, I.F.; DAWSON, I.A.; MUNIBI, P. The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth: II Grain development. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v.40, n.1, p.15-24, 1989.

WARDLAW, I.F.; WRIGLEY, C.W. Heat tolerance in temperate cereals: An overview. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v.21, p.695-703, 1994.

YANG, J.; SEARS, R.G.; GILL, B.S.; PAULSEN, G.M. Growth and senescence characteristics associated with tolerance of wheat-alien amphiploids to high temperature under controlled conditions. **Euphytica**, Wageningen, v.126, n.2, p.185-193, 2002.

ÍNDICES DE SELEÇÃO EM UM PROGRAMA DE SELEÇÃO RECORRENTE PARA TOLERÂNCIA AO CALOR EM TRIGO

Resumo - Objetivou-se com este trabalho predizer os ganhos genéticos utilizando-se índices de seleção e comparar a eficiência destes índices em predizer ganhos nos sentidos desejados sob diferentes pesos adotados para seleção de famílias de trigo em um programa de seleção recorrente para tolerância ao calor. Para isto, foram conduzidos dois experimentos na área experimental da Universidade Federal de Viçosa. Utilizou-se o delineamento látice quadrado 16x16 com duas repetições, composto por 240 famílias oriundas de oito populações segregantes, as quais contribuíram com 30 famílias cada, mais 16 genitores. No primeiro experimento, em fevereiro de 2007 (verão), foram avaliadas famílias $F_{2:4}$ e no segundo, em junho de 2007 (inverno), foram avaliadas famílias $F_{2:5}$. Avaliaram-se os caracteres floração, altura de plantas, produção de grãos e massa de mil grãos. Os índices de seleção utilizados foram o de Smith e Hazel, Pesek e Baker, Mulamba e Mock e o de Kempthorne e Nordskog. O uso de índices de seleção possibilitou a predição de ganhos simultâneos em todas as características avaliadas, sendo os índices de Mulamba e Mock, de Pesek e Baker e de Kempthorne e Nordskog os mais adequados para obtenção de ganhos nos sentidos desejados para todos os caracteres. O índice de Smith-Hazel não se adequou aos propósitos do trabalho. Com o índice de Pesek e Baker foram preditos ganhos nos sentidos almejados com os diferentes pesos adotados e onde foram preditos os maiores ganhos para altura de plantas. Desejando-se obter o máximo de ganho em produção, sem alterar a altura e ciclo das plantas, o índice de Kempthorne e Nordskog mostrou-se o mais eficiente.

Termos para indexação: *Triticum aestivum* L, predição de ganhos, altas temperaturas.

SELECTION INDEXES IN A RECURRENT SELECTION PROGRAM FOR HEAT TOLERANCE IN WHEAT

Abstract – The objective of this work was to predict the genetic gains using selection indexes and to compare the efficiency of these indexes in to predict gains in the desired directions under different weights adopted for selection of families of wheat in a selection recurrent program for heat tolerance. Two experiments were lead in the experimental area of the Universidade Federal de Viçosa. The square lattice design 16x16 was used, with two replications, composed for 240 families descending from eight segregating populations that contributed with 30 families each, more 16 genitors. In the first experiment, on February/2007 (summer), F_{2.4} families were evaluated and in the second one, on June/2007 (winter), F_{2.5} families. The characters flowering, plant height, grain yield and thousand grain weight were recorded. Were used the selection indexes of Smith and Hazel, Pesek and Baker, Mulamba and Mock and of Kempthorne and Nordskog. The use of selection indexes made possible the prediction of simultaneous gains for all the evaluated characteristics, being the indexes of Mulamba and Mock, Pesek and Baker and Kempthorne and Nordskog the better indexes to predict gains in the desired directions for all the characters. With the Pesek and Baker index were predict gains in the desired directions with different coefficients. Desiring to get the gain maximum in grain yield, without modifying the plant height, the preference is for the Kempthorne and Nordskog index.

Index terms: *Triticum aestivum* L., gains prediction, high temperatures.

INTRODUÇÃO

A busca pela tolerância ao calor é objetivo em muitos programas de melhoramento de trigo em nível mundial (CARGNIN et al., 2006; FOKAR et al., 1998; KHANNA-CHOPRA e VISWANATHAN, 1999; SOUZA e RAMALHO, 2001; WARDLAW e WRIGLEY, 1994), visto que altas temperaturas podem acarretar grandes danos ao crescimento e desenvolvimento de plantas de trigo (RANE e NAGARAJAN, 2004; SOUZA, 1999, STONE e NICOLAS, 1994).

Dada a grande demanda nacional e aos elevados gastos com a importação de trigo (AGRIANUAL, 2007), o alcance da tolerância ao calor torna-se fundamental para a triticultura brasileira, pois permitirá a exploração de novas áreas. Além disso, áreas de sequeiro semeadas no final de verão, para o aproveitamento das últimas chuvas, também seriam beneficiadas (SOUZA e RAMALHO, 2001).

Variabilidade genética para tolerância ao calor tem sido constatada em diversos trabalhos (CARGNIN et al., 2006; FOKAR et al., 1998; SHAH e PAULSEN, 2003; SOUZA, 1999; YANG et al., 2002), contudo, métodos simples, rápidos e eficientes de avaliação e seleção ainda constituem séria dificuldade nos programas de melhoramento para este propósito.

A metodologia de avaliação de genótipos depende dos objetivos pré-determinados no programa de melhoramento. Dependendo destes propósitos o melhorista determinará a melhor forma de avaliar suas famílias, cultivares, populações etc., para então efetuar a seleção. Segundo Barbosa e Pinto (1998), os melhoristas de plantas frequentemente se defrontam com o problema de identificar genótipos superiores baseados em avaliações subjetivas.

No que diz respeito à tolerância ao calor em trigo, normalmente os genótipos são avaliados sob condições de estresse e então submetidos a algum método seletivo. Alguns trabalhos têm optado por índices de tolerância ao estresse térmico como critério de seleção. Nestes trabalhos tem sido considerada na maioria das vezes a produção ou seus componentes como caráter seletivo (CARGNIN et al., 2006; KHANNA-CHOPRA e VISWANATHAN, 1999) ou envolvendo também outras variáveis (RANE e NAGARAJAN, 2004; YANG et al., 2002).

A seleção direta sobre um caráter é, na maioria das vezes, a maneira mais fácil e prática para se obter ganhos, todavia, esta estratégia pode promover modificações em outros caracteres em sentido e magnitude variados e muitas vezes indesejados. Além disso, o melhoramento nem sempre visa à melhoria de apenas uma característica, devendo ser empregados outros critérios de seleção que possibilitem ganhos simultâneos nos caracteres de interesse (PAULA et al., 2002). Segundo Cruz et al. (2004), um produto final superior para determinadas características, mas não tão favorável para outras pode implicar na sua rejeição. Para Maêda et al. (2001), a seleção baseada em apenas uma ou em poucas características é ineficaz, sendo importante avaliar e interpretar simultaneamente o máximo possível de características envolvidas no sistema produtivo.

A necessidade de realizar a seleção visando ganhos simultâneos em um conjunto de características, fez com que critérios que não fossem baseados apenas na seleção direta sobre um caráter, ou na seleção indireta, fossem implementados (ELSTON, 1963; HAZEL, 1943; PAULA et al., 2002; PESEK e BAKER, 1969; SMITH, 1936). Os índices de seleção são definidos por Cruz et al. (2004) como um caráter adicional, estabelecido pela combinação ótima de vários caracteres, que permite efetuar com eficiência, a seleção simultânea de caracteres múltiplos. Com os índices consegue-se o melhoramento dos genótipos para o seu conjunto de características e, segundo Garcia e Souza Júnior (1999), eles são adequados a programas de seleção recorrente pelo melhoramento das populações em diversas características. Além disso, são apontados como mais eficientes do que a seleção de um caráter simples para aumentar o valor do agregado genotípico (GEBRE-MARIAM e LARTER, 1996).

Na literatura são apontadas diversas propostas para obtenção de índices, que podem variar quanto à metodologia de obtenção dos mesmos. Alguns utilizam de parâmetros genéticos como matrizes de covariâncias fenotípicas e genotípicas na estimação dos coeficientes que constituem o índice, a exemplo do índice clássico de Smith (1936) e Hazel (1943), do índice dos ganhos desejados de Pesek e Baker (1969), de Kempthorne e Nordskog (1959), Tallis (1962) e o de Cunningham et al. (1970). Outras metodologias dispensam a necessidade de estimação de parâmetros genéticos, como o índice livre de pesos e parâmetros de Elston (1963), índice-base de Willians (1962) e o de soma de postos ou ranks de Mulamba e Mock (1978).

Em várias situações foram utilizados índices de seleção como critérios de seleção de genótipos, em diversas culturas, anuais ou perenes, como arroz (RODRIGUEZ et al., 1998), batata (BARBOSA e PINTO, 1998), eucalipto (PAULA et al., 2002), maracujá (GONÇALVES et al., 2007), milho (CROSBIE et al., 1980; GARCIA e SOUZA JÚNIOR, 1999; GRANATE et al., 2002), soja (COSTA et al., 2004; OLIVEIRA et al., 1999), *Virola surinamensis* (MAÊDA et al., 2001) e trigo (GEBRE-MARIAM e LARTER, 1996; IQBAL et al., 2007; WELLS e KOFOID, 1986).

Os índices de seleção não são uma técnica nova e têm sido utilizados em vários trabalhos, entretanto, ainda são pouco explorados, necessitando de maiores informações acerca de suas aplicabilidades e eficiência. Para Maêda et al. (2001), parâmetros de ordem subjetiva estabelecidos pelos melhoristas, como peso econômico das características, intensidade de seleção aplicada e os ganhos desejados, resultam, em alguns casos, em questionamento quanto à eficácia destes índices.

Objetivou-se com este trabalho prever os ganhos genéticos utilizando-se índices de seleção e comparar a eficiência destes índices em prever tais ganhos nos sentidos desejados sob diferentes pesos adotados para seleção de famílias de trigo em um programa de seleção recorrente para tolerância ao calor.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a determinação do efeito de altas temperaturas sobre a cultura do trigo, foram conduzidos dois experimentos na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada no município de Viçosa, com coordenadas 20°45'14''Sul e 42°52'54''Oeste e altitude de 649 m, na Região da Zona da Mata do estado de Minas Gerais.

O primeiro experimento foi semeado no mês de fevereiro de 2007, correspondendo à estação de verão (temperaturas elevadas) e o segundo foi semeado no mês de junho de 2007, correspondendo à estação de inverno (temperaturas amenas).

Na tentativa de minimizar a influência de fatores bióticos e abióticos sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas, com exceção à temperatura como causadora de estresse por calor, os dois experimentos seguiram as mesmas recomendações de cultivo e práticas culturais de uma lavoura irrigada, conforme as Informações Técnicas para a Cultura de Trigo na Região do Brasil - Central (COMISSÃO..., 2005). Foram aplicados 250 kg.ha⁻¹ de NPK da fórmula 08-28-16 no sulco de semeadura e posteriormente foram aplicados 50 kg.ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura sob a forma de sulfato de amônio, no início do perfilhamento.

No primeiro experimento foram avaliadas famílias F_{2:4}, que após colhidas as sementes, semeou-se o experimento de inverno constituído de famílias F_{2:5}. Este procedimento foi necessário, pois não havia sementes F_{2:4} suficientes para implantação dos dois experimentos. As famílias foram oriundas de oito populações obtidas do cruzamento entre a família mais tolerante ao calor, segundo índice de Coelho (1995), de cada uma das oito populações avaliadas no primeiro ciclo de seleção recorrente. Estas oito melhores famílias (genitores) foram recombinadas segundo esquema de dialelo circulante (BEARZOTI, 1997), formando as oito populações avaliadas no atual ciclo (C₁).

Cada uma das oito populações foi representada por 30 famílias, totalizando 240, as quais foram avaliadas utilizando-se o delineamento látice quadrado 16 x 16, com duas repetições. Para completar o látice, foram utilizados os oito genitores iniciais (cultivares) mais os oito genitores que foram recombinados (famílias selecionadas do primeiro ciclo de seleção recorrente).

Os genótipos avaliados nos dois experimentos são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Genótipos avaliados nos experimentos de verão e inverno de 2007 em Viçosa-MG. São apresentados os 16 genitores e as 8 populações (30 famílias cada).

Genótipos avaliados
Genitores do C₀ (cultivares)
1. BH 1146
2. BR 24
3. Aliança
4. EP 93541
5. CPAC 9662
6. Pioneiro
7. BRS 207
8. Anahuac
Genitores C₁ (melhor família de cada população do C₀)
9. BH1146/BR24
10. BR24/Aliança
11. Aliança/EP93541
12. EP93541/CPAC9662
13. CPAC9662/Pioneiro
14. Pioneiro/BRS207
15. BRS207/Anahuac
16. Anahuac/BH1146
Populações avaliadas no C₁ (30 famílias cada)
1. BH1146/BR24//Aliança/EP93541
2. BR24/Aliança//EP93541/CPAC9662
3. Aliança/EP93541//CPAC9662/Pioneiro
4. EP93541/CPAC9662//Pioneiro/BRS207
5. CPAC9662/Pioneiro//BRS207/Anahuac
6. Pioneiro/BRS207//Anahuac/BH1146
7. BRS207/Anahuac//BH1146/BR24
8. Anahuac/BH1146//BR24/Aliança

Cada parcela foi constituída de três linhas de 3,0 m de comprimento, com espaçamento entre linhas de 18,6 cm, conferindo área útil de 1,67 m². Para a densidade de plantas desejada, foram semeadas 350 sementes aptas por m². Foram coletados dados referentes aos seguintes caracteres agronômicos: floração (dias), altura de plantas (cm), produção de grãos (g/1,67 m²) e massa de mil grãos (g).

Os dados dos caracteres avaliados nos dois ambientes (verão e inverno) foram submetidos à análise de variância com o auxílio do software MSTAT (1983) e as demais análises pertinentes à predição de ganhos genéticos foram realizadas com o auxílio do software GENES (CRUZ, 2001). Após a análise de variância de cada experimento e confirmada a homogeneidade das variâncias pela relação entre o maior e o menor quadrado médio do erro menor que 7:1 (CRUZ et al., 2004), foi realizada a análise conjunta dos experimentos. Para esta análise foram utilizadas as médias

ajustadas e adotou-se o seguinte modelo: $Y_{ijl} = \mu + g_i + a_l + b/a_{lj} + ga_{il} + \varepsilon_{ijl}$, em que: Y_{ijl} é o valor observado do genótipo i na repetição j , dentro do ambiente l ; μ é a média geral do experimento; g_i é o efeito do genótipo i ($i = 1, 2, \dots, 256$); a_l é o efeito do ambiente l ($l = 1, 2$); b/a_{lj} é o efeito da repetição j ($j = 1, 2$) dentro do ambiente l ; ga_{il} é o efeito da interação entre o genótipo i e o ambiente l ; ε_{ijl} é o erro aleatório associado à observação Y_{ijl} . Para a realização do teste F, o efeito de genótipos e da interação genótipos por ambientes foram considerados aleatórios e o efeito de ambientes fixo, conforme Cruz et al. (2004).

Foi determinada a porcentagem de redução (%R) das características no ambiente de calor em comparação com o ambiente de inverno, conforme Wardlaw et al. (1989), sendo: $\%R = (1 - \frac{P_v}{P_i}) \times 100$, em que: P_v e P_i são as médias de cada genótipo nos experimentos de verão e inverno, respectivamente, para cada um dos caracteres avaliados.

Para a seleção das famílias foram utilizados os seguintes critérios seletivos: a seleção direta em cada característica, com a respectiva resposta correlacionada nas demais características e o uso de quatro diferentes índices de seleção, conforme descrição abaixo:

Índice Clássico de Smith (1936) e Hazel (1943): é uma combinação linear dos vários caracteres de importância econômica, onde os coeficientes de ponderação são estimados de modo a maximizar a correlação entre o índice e o agregado genotípico. Este agregado é estabelecido por uma outra combinação linear, envolvendo os valores genéticos, os quais são ponderados pelos respectivos coeficientes de ponderação. É um índice genotípico indicado para situações onde se queira obter ganho em todas as características. Os coeficientes de ponderação do índice (\hat{b}) estimados para as características são assim obtidos: $\hat{b} = P^{-1}Ga$, em que: \hat{b} é o vetor de dimensão $n \times 1$ dos coeficientes de ponderação do índice a serem estimados, sendo n o número de caracteres avaliados; P^{-1} é a inversa da matriz de dimensão $n \times n$ de covariâncias fenotípicas entre os caracteres; G é a matriz de dimensão $n \times n$ de covariâncias genéticas entre os caracteres e; a é vetor de dimensão $n \times 1$ de pesos previamente estabelecidos.

Índice dos Ganhos Desejados de Pesek e Baker (1969): da dificuldade de estabelecer com exatidão os pesos relativos aos vários caracteres, Pesek e Baker propuseram um índice onde tais pesos seriam substituídos pelos ganhos desejados pelo

melhorista para cada caráter, pois, segundo os autores, são de mais fácil determinação. Este índice é também um índice genotípico apropriado para situações em que se queira obter ganhos para todas as características. Os coeficientes de ponderação do índice (\hat{b}) estimados para as características são obtidos pela expressão: $\hat{b} = G^{-1}\Delta g_d$, em que: G^{-1} é a inversa da matriz $n \times n$ de covariâncias genéticas, sendo n o número de caracteres avaliados e; Δg_d é o vetor de ganhos desejados.

Índice de Soma de Postos ou Ranks de Mulamba e Mock (1978): este é um índice fenotípico que consiste simplesmente em classificar os genótipos em relação a cada um dos caracteres, em ordem favorável ao melhoramento. Após a classificação, são somadas as ordens de cada genótipo, referente a cada caráter. Esta soma é tida como índice e quanto menor este valor, melhor é o genótipo.

Índice restrito de Kempthorne e Nordskog (1959): este é um índice genotípico que maximiza o ganho em um conjunto de caracteres, impondo a restrição de que o ganho para outro conjunto seja nulo. A equação linear do índice é determinada de modo que a covariância entre o índice e a função linear dos valores genotípicos dos caracteres que o melhorista não queira alterar seja nula. Os coeficientes de ponderação do índice (b) estimados para as características são dados pela seguinte fórmula: $b = [I - P^{-1}GC(C'GP^{-1}GC)^{-1}C'G]P^{-1}Ga$, em que: I é a equação linear do índice; P é a matriz de dimensão $n \times n$ de variâncias e covariâncias fenotípicas entre os caracteres; G é a matriz de dimensão $n \times n$ de variâncias e covariâncias genéticas entre os caracteres; C é a matriz de restrições, em que os coeficientes dos valores genotípicos que não devem ser alterados têm o valor unitário e os demais coeficientes têm o valor zero e; a é o vetor de dimensão $n \times 1$ dos pesos previamente estabelecidos.

Detalhes sobre metodologias de tais índices podem ser obtidos em Cruz e Carneiro (2003) e Cruz et al. (2004).

Os pesos ou coeficientes adotados para as características foram: 10% de ganho na média de cada caráter, o coeficiente de variação genética (CVg) e o desvio padrão genético ($\hat{\sigma}_g$) de cada característica; foram testados também outros pesos obtidos por tentativa, sendo dado peso 1 para floração (FLO), peso 1 para altura de planta (ALT), 2 para produção (PRO) e 1 para massa de mil grãos (MMG) e também os pesos 10, 60, 300 e 5 para estes mesmos caracteres, respectivamente.

O sentido dos ganhos foi para decréscimo de FLO e ALT e acréscimo de PRO e MMG. Todos os índices avaliados foram submetidos aos mesmos coeficientes e em todos os casos as quatro características foram consideradas como principais, além disso, quando se considerou o desvio padrão genético para o índice de Pesek e Baker, avaliaram-se também os ganhos preditos nos caracteres considerando-se FLO e MMG como caracteres secundários.

Foi adotada intensidade de seleção de 20% para todas as situações e os ganhos foram preditos pelas expressões: $GS = (\bar{X}_s - \bar{X}_o) \times h^2$ e $GS(\%) = (GS / \bar{X}_o) \times 100$, em que: GS , ganho com a seleção; \bar{X}_s , média dos indivíduos selecionados em dado caráter; \bar{X}_o , média original do caráter; h^2 , herdabilidade do caráter; $GS(\%)$, ganho com a seleção expresso em porcentagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de variâncias conjuntas de todas as características são apresentadas na Tabela 2. Observou-se efeito significativo ($P \leq 0,01$) para famílias, testemunhas e para a interação genótipos por ambientes. Constatou-se interação significativa das famílias com as épocas, evidenciando o comportamento diferenciado destas quanto ao estresse de calor e a existência de variabilidade genética possível de ser explorada para a seleção. A interação de testemunhas com as épocas apresentou significância apenas para os caracteres floração e produção de grãos, já o contraste famílias versus épocas apresentou interação significativa com as épocas apenas para floração.

TABELA 2. Resumo das análises de variâncias conjuntas de diferentes caracteres para famílias e testemunhas (genitores) de trigo avaliados nas épocas de verão e inverno de 2007 em Viçosa – MG.

Fontes de Variação	G.L.	Quadrados Médios			
		Floração (dias)	Altura de planta (cm)	Produção (g/1,67m ²)	Massa de mil grãos (g)
Épocas (E)	1	148273,56**	430377,41**	9249820,47**	9691,74**
Genótipos	255	28,69**	273,92**	19184,56**	23,24**
Famílias	239	27,99**	255,15**	19276,52**	23,28**
Testemunhas	15	26,18**	567,79**	18989,28**	19,08**
Fam. vs Test.	1	232,13**	352,69**	136,70ns	75,17**
Genótipos x Épocas	255	17,75**	84,81**	9738,23**	6,73**
Famílias x E	239	17,26**	87,08**	9655,97**	6,89**
Testemunhas x E	15	24,54**	53,88ns	11582,34*	4,35ns
Fam. vs Test. x E	1	33,93**	5,53ns	1736,66ns	3,18ns
Erro efetivo médio	450	3,29	51,47	5925,85	4,22
Média		54,89	93,51	363,64	37,58
CV (%)		3,30	7,67	21,17	5,46

** e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

ns: não significativo pelo teste F ($P > 0,05$).

Nota-se grande variação para todas as características avaliadas (Tabela 3), dentro do mesmo ambiente e entre ambientes, tanto para famílias quanto para testemunhas. Considerando a mesma época de avaliação e a mesma característica, observa-se que o desempenho médio das famílias e testemunhas foi semelhante, inclusive para a porcentagem de redução, a despeito da produção e massa de mil grãos de algumas famílias apresentarem limite inferior negativo para %R, ou seja, apresentaram médias superiores no verão em relação ao inverno. Mas, quando se considera a média de cada característica, famílias e testemunhas expressaram semelhantes percentuais de redução. Estes valores são reflexos da variabilidade entre as famílias e, também, do desempenho contrastante dos genitores.

TABELA 3. Limite superior, limite inferior e média dos caracteres floração (FLO), altura (ALT), produção de grãos (PRO), massa de mil grãos (MMG) e porcentagem de redução (%R) devido ao estresse de calor em famílias e testemunhas de trigo.

Genótipos	Variáveis	Limites superior e inferior		
		Verão	Inverno	%R
Famílias	FLO	35,07 - 53,89 (42,7) ¹	59,98 - 70,99 (66,86)	20,28 - 47,19 (36,14)
	ALT	45,72 - 91,59 (73,15)	81,20 - 138,82 (114,19)	20,71 - 54,98 (35,94)
	PRO	90,41 - 513,32 (268,17)	226,28 - 691,22 (458,92)	-18,20 - 76,89 (41,56)
	MMG	28,29 - 41,10 (34,56)	32,52 - 49,23 (40,74)	-0,63 - 31,55 (15,17)
Testemunhas	FLO	37,95 - 57,09 (45,42)	64,97 - 71,98 (68,07)	16,64 - 44,73 (33,27)
	ALT	51,30 - 91,54 (71,03)	88,82 - 136,07 (111,46)	24,87 - 48,76 (36,46)
	PRO	207,74 - 406,26 (275,06)	307,42 - 680,31 (455,06)	3,53 - 60,39 (37,25)
	MMG	29,19 - 36,59 (33,67)	34,71 - 43,61 (39,39)	6,09 - 22,94 (14,35)

¹Valores entre parênteses referem-se às médias dos caracteres.

Há de se destacar a elevada altura apresentada pelas plantas de trigo cultivadas no inverno, principalmente entre as famílias (Tabela 3), visto que algumas delas apresentaram altura superior a 135 cm. Este caráter é relevante no processo de seleção de plantas ou famílias, pois em condições favoráveis a altura pode atingir valores que favorecem o acamamento, com reflexos negativos na produtividade de grãos. Singh e Chaudhary (2006) chamam atenção para este aspecto, pois verificaram que a seleção de plantas de trigo de porte baixo foi mais eficiente sob condições irrigadas (sem estresse) e, quando a seleção se dava sob condições desfavoráveis, as plantas mais produtivas, aparentemente baixas, foram as mais altas em condições de irrigação.

Na Figura 1 está apresentado a distribuição de frequência da produção de grãos das 240 famílias avaliadas nos ambientes de verão e inverno. Analisando-se os gráficos percebe-se que este caráter apresentou distribuição esperada próximo da normal, concentrando maior número de famílias nas classes intermediárias e um menor número nas classes inferiores e superiores.

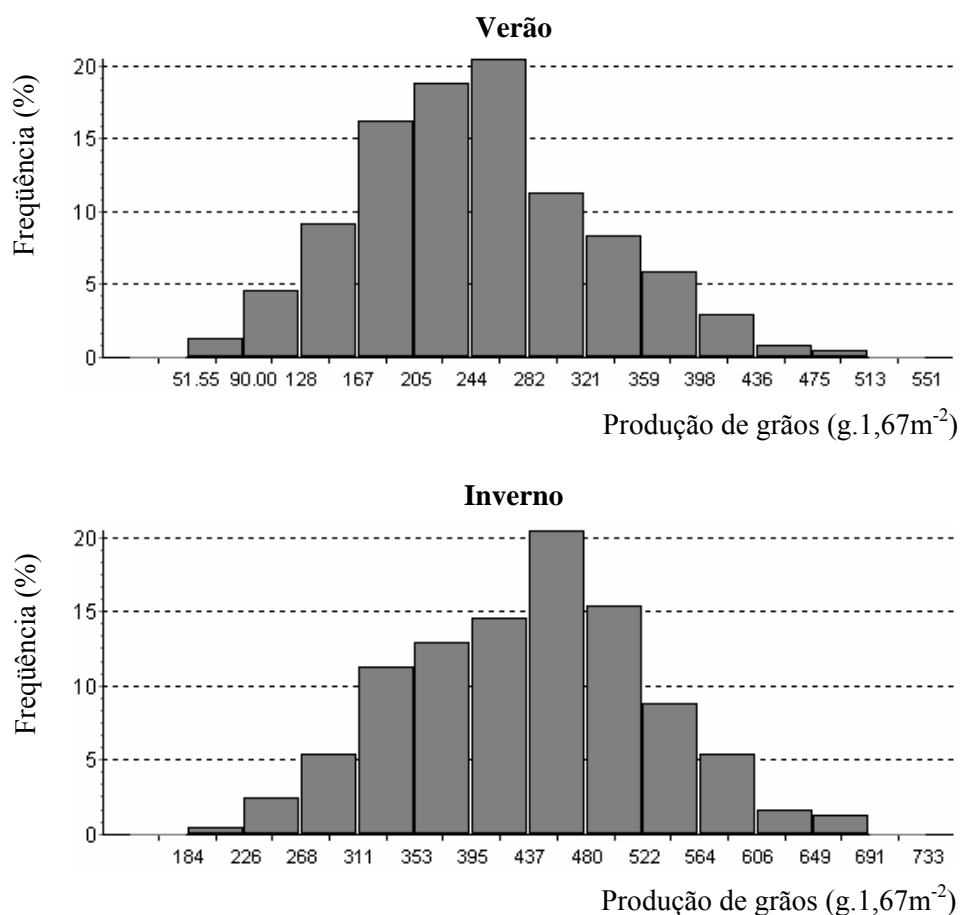


FIGURA 1. Distribuição de frequência da produção de grãos de 240 famílias de trigo, nas épocas de verão e inverno de 2007, em Viçosa-MG.

O coeficiente de correlação de Spearman para produção, entre os dois ambientes, foi baixo para as famílias ($r = 0,3467$) e as testemunhas ($r = 0,2441$). Fato já esperado, uma vez que foi verificada a interação genótipos por épocas. Isto indica que as melhores famílias num ambiente não o foram no outro ambiente. Um aspecto sujeito a questionamento diz respeito ao uso das médias da análise conjunta para a seleção das famílias mais tolerantes ao calor e não das médias do verão. De fato, famílias com baixas produtividades no verão poderiam ter sua média conjunta equilibrada por uma elevada produtividade no inverno, contudo devem ser feitas algumas considerações.

No trabalho de Khanna-Chopra e Viswanathan (1999) foi verificado que os genótipos com elevada regularidade na produção sob condição de estresse apresentaram moderada produtividade, indicando que maior resistência ao estresse pode estar associada com média baixa. Para Cargnin (2005), genótipos com esse tipo de comportamento apresentam alta adaptabilidade a ambientes específicos (ambiente de verão), mas não respondem à melhoria do ambiente (inverno), o que não é desejado.

Trabalhando com a cultura do feijão para tolerância a frio, Nunes et al. (1999) verificaram que a eficiência de seleção era maior quando se usava a média de gerações. Ud-Din et al. (2004) verificaram que pesando a performance em condições de irrigação e com estresse de seca em trigo, foi possível de se obter progresso mais rápido para condições de seca do que a seleção direta em ambiente seco. Fato ocorrido mesmo não havendo correlação entre os ambientes.

Há uma teoria de que a herdabilidade em ambientes favoráveis é superior à herdabilidade em ambientes desfavoráveis, embora evidências experimentais constatem que tal fato não é unanimidade (CECCARELLI, 1994). No presente trabalho os valores de herdabilidade dos caracteres foram semelhantes entre os dois ambientes, não sendo pertinente este aspecto como justificativa para se selecionar em um ambiente em detrimento do outro. Ademais, o objetivo maior não é o alcance de plantas tolerantes ao calor para serem cultivadas em condições de verão e, sim, plantas para serem cultivadas em condições de temperaturas amenas, mas que possam suportar temperaturas mais elevadas, caso estas venham a ocorrer.

TABELA 4. Médias (\bar{X}_o), razão entre o coeficiente de variação genético e o experimental (CV_g/CV_e), herdabilidades (h^2), agregado genotípico (H) e estimativas dos ganhos com a seleção ($GS\%$) direta e indireta em 240 famílias de trigo para os caracteres floração (FLO), altura de plantas (ALT), produção de grãos (PRO) e massa de mil grãos (MMG).

Caracteres	\bar{X}_o	CV_g/CV_e	h^2	$GS\%$				H
				FLO	ALT	PRO	MMG	
FLO	54,89	1,37	0,88	-5,88¹	-1,64	0,30	2,18	10,0
ALT	93,51	0,99	0,80	-2,42	-10,51	-8,56	-1,13	3,24
PRO	363,64	0,75	0,69	0,51	3,02	18,20	2,95	17,62
MMG	37,58	1,06	0,82	-0,98	2,54	4,25	7,79	10,48

¹Valores em negrito, na diagonal, referem-se aos ganhos preditos com a seleção direta no caráter.

A variabilidade constatada entre as famílias (Tabela 2) e os altos valores de herdabilidade dos caracteres (Tabela 4) refletem o potencial das famílias para seleção, permitindo que métodos seletivos possam ser empregados. Outro parâmetro que reflete este potencial é a relação CV_g/CV_e , que quando superior à unidade, é um indicativo de situação favorável à seleção (CRUZ et al., 2004). Apenas o caráter PRO apresentou valor de CV_g/CV_e notavelmente inferior a um (0,75), indicando maior dificuldade de ganho para este caráter. Na Tabela 4 são apresentados os ganhos obtidos pela seleção direta sobre cada caráter e a resposta correlacionada nos demais caracteres. O desejável

é se obter decréscimo, ou seja, ganhos negativos para floração (FLO) e altura (ALT) e acréscimo ou ganhos positivos para produção (PRO) e massa de mil grãos (MMG).

A redução na duração do ciclo é almejada, pois plantas com ciclo demasiadamente longo permanecem maior tempo no campo, diminuindo a eficiência de uso da área pelos produtores, além de estarem mais sujeitas às chuvas no período de colheita, principalmente na região do Brasil - Central. Quanto à altura, foi constatado que boa parte das famílias apresentou altura elevada e, conseqüentemente, grande número de parcelas apresentou acamamento no campo quando da realização do experimento de inverno. Isto provavelmente aconteceu em decorrência do esquema seletivo adotado no ciclo anterior, onde as famílias foram selecionadas para recombinação por meio de um índice de tolerância ao calor que considerou apenas a produção dos genótipos, a despeito da correlação positiva entre produção e altura de plantas.

Com a seleção direta sobre FLO, foi possível prever redução na média em 5,88% (Tabela 4), sendo este o único caráter no qual a seleção direta promoveu ganhos indiretos no sentido desejado para todos os caracteres, porém em baixas magnitudes. A seleção direta sobre ALT possibilitou ganhos preditos de 10,51%, valor considerável, entretanto os ganhos nos demais caracteres foram negativos, fugindo dos propósitos, sobretudo para produção de grãos que reduziu 8,56%. A seleção direta sobre PRO possibilitou ganho de 18,20%, porém os demais caracteres também tiveram suas médias aumentadas, o que não é desejado. Já com a seleção direta sobre MMG obteve-se ganho predito de 7,79%, mas a altura também aumentaria nestas condições.

Apesar de a seleção direta ser, na maioria das vezes, a forma mais fácil de se obter maiores ganhos para um determinado caráter (PAULA et al., 2002), esta não é a melhor estratégia para melhoramento das populações no presente trabalho, assim como a seleção indireta. Todavia, Noaman et al. (1990) obtiveram resultados satisfatórios para aumentar o conteúdo de proteína nos grãos pela seleção indireta baseada no conteúdo de proteína de algumas partes da planta, como pedúnculo e folha bandeira, sem reduzir a produtividade.

Segundo Cruz et al. (2004), a quantificação dos efeitos indiretos da seleção de um caráter (ou vários) sobre outros secundários é de fundamental importância para orientar os programas de melhoramento na busca por material genético que reúna, simultaneamente, uma série de atributos favoráveis.

Na Tabela 5 encontram-se os ganhos preditos para os caracteres FLO, ALT, PRO e MMG sob diferentes índices de seleção e sob diferentes pesos adotados. Percebe-se grande variação e sentido dos ganhos nos diferentes caracteres, pelos diferentes pesos e índices avaliados.

Com relação aos pesos adotados, constata-se maior ocorrência de ganhos no sentido desejado quando se utilizou o CV_g, o $\hat{\sigma}_g$, o peso obtido por tentativa 1, 1, 2, 1 e 10% da média dos caracteres. Diversos trabalhos têm usado parâmetros obtidos dos próprios dados experimentais como coeficientes de ponderação dos índices (BARBOSA e PINTO, 1998; COSTA et al., 2004; CROSBIE et al., 1980; GRANATE et al., 2002; IQBAL et al., 2007; MAÊDA et al., 2001; OLIVEIRA et al., 1999; PAULA et al., 2002). Dentre os mais utilizados, encontram-se o coeficiente de variação genético, o desvio padrão genético, a herdabilidade, a relação entre o coeficiente de variação genético e o experimental, a correlação genética e o recíproco do desvio padrão genético. A utilização de tais parâmetros justifica-se, para a maioria deles, pelo fato de serem proporcionais à variância genética disponível, mantendo a proporcionalidade entre os caracteres.

Pesos obtidos por tentativas também têm sido sugeridos em alguns trabalhos (GONÇALVES et al., 2007; BARBOSA e PINTO, 1998; GRANATE et al., 2002; RODRIGUEZ et al., 1998), bem como de 10% de ganho na média dos caracteres (CROSBIE et al., 1980; GRANATE et al., 2002; WELLS e KOFOID, 1986).

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 5, percebe-se que o índice de Smith-Hazel (SH) foi o único que não promoveu ganho no sentido desejado com nenhum dos pesos adotados. Pelo índice SH, a característica FLO praticamente não sofreu alteração, mas a ALT continuou aumentando. Apesar dos ganhos não terem ocorrido em todos os sentidos desejados, o CV_g e 1, 1, 2, 1 foram os pesos que proporcionaram os melhores ganhos pelo índice SH, indicado pela superioridade do agregado genotípico (17,24). Resultados semelhantes foram encontrados por Gonçalves et al. (2007) e Maêda et al. (2001), em que o índice SH foi o que apresentou os menores ganhos preditos nas características.

Resultados satisfatórios para o índice SH foram encontrados em diversos trabalhos (BARBOSA e PINTO, 1998; GRANATE et al., 2002; PAULA et al., 2002; RODRIGUEZ et al., 1998). No trabalho de Rodriguez et al. (1998) o SH apresentou ganhos semelhantes ao da seleção direta, mas com a vantagem de aumentar a resistência à brusone na folha de arroz.

Na cultura do trigo, Wells e Kofoid (1986) objetivando acréscimo em produção e proteína e decréscimo em altura conseguiram incrementos de 9,6%, 1,13% e -0,31%, respectivamente, nestes caracteres. Iqbal et al. (2007) também obtiveram resultados satisfatórios com o índice de SH no melhoramento simultâneo para produtividade, teor de proteína no grão e dias até a maturação em trigo.

Os resultados insatisfatórios para o índice SH no presente trabalho, provavelmente tenha ocorrido devido à não adequação do índice aos diferentes pesos estabelecidos. De fato, o estabelecimento de pesos adequados para os diferentes caracteres é uma das maiores dificuldades deste índice, pois muitas vezes o melhorista considera caracteres para os quais não é possível estabelecer pesos com nível de precisão aceitável (RODRIGUEZ et al., 1998).

TABELA 5. Predição dos ganhos (%) com a seleção simultânea para decréscimo dos caracteres floração (FLO) e altura de plantas (ALT) e acréscimo dos caracteres produção (PRO) e massa de mil grãos (MMG) sob diferentes índices de seleção em 240 famílias de trigo.

Índices ¹	Pesos ²	Ganhos de Seleção (%)				H ³
		FLO	ALT	PRO	MMG	
SH	CV _g	0,64	3,76	18,11	3,53	17,24
PB		-3,58	-3,10	1,94	6,27	14,89
MM		-1,79	-0,31	14,29	3,39	19,78
KN		0,60	-0,17	16,64	1,65	17,86
SH	σ _g	0,96	4,09	18,04	2,89	15,88
PB		-2,27	-4,45	8,91	3,32	18,95
PBa		-0,75	-4,26	11,44	0,49	16,94
MM		0,36	2,78	18,17	2,95	17,98
KN		0,60	-0,17	16,64	1,65	17,86
SH	1, 1, 2, 1	0,64	3,76	18,11	3,53	17,24
PB		-4,38	-2,36	1,04	6,21	13,99
MM		-3,22	-1,35	10,54	4,27	19,38
KN		0,60	-0,17	16,64	1,65	17,86
SH	10% da média de cada caráter	0,63	3,91	18,09	3,36	16,91
PB		-4,44	-4,71	3,86	4,41	17,42
MM		-0,47	1,07	17,19	3,12	19,71
KN		0,60	-0,17	16,64	1,65	17,86
SH	10, 60, 300, 5	0,84	3,91	18,10	3,11	16,46
PB		-0,87	-5,32	9,40	0,77	16,36
MM		0,22	2,05	17,98	2,42	18,13
KN		0,60	-0,17	16,64	1,65	17,86
Médias Originais		54,89	93,51	363,64	37,58	

¹SH: índice clássico de Smith-Hazel; PB: índice de Pesek e Baker; PBa: índice de Pesek e Baker considerando os caracteres FLO e MMG como secundários; MM: índice de soma de “ranks de Mulamba e Mock; KN: índice de Kempthorne e Nordskog .

²CV_g: coeficiente de variação genético; σ_g: desvio padrão genético; 1, 1, 2, 1 e 10, 60, 300, 5: pesos obtidos por tentativas; 10% da média do caráter: 5,5, 9,3, 36,0, 3,8.

³H: Agregado genotípico = soma dos produtos entre o vetor de valores genéticos dos caracteres e o vetor de pesos.

Segundo Crosbie et al. (1980) e Wells e Kofoid (1986), quando se tem variâncias e covariâncias acuradas, o índice de SH é considerado ótimo, maximizando o ganho no agregado genotípico. Entretanto, os melhoristas podem não ter estas estimativas fidedignas ou a informação que é necessária para determinar os pesos econômicos (CROSBIE et al., 1980). Os autores Wells e Kofoid (1986) relatam que respostas indesejáveis em caracteres individuais dentro do agregado genotípico podem ocorrer quando eles são geneticamente correlacionados com caracteres que têm maior valor econômico relativo, herdabilidade ou variância genética.

A interação genótipos por ambientes também pode interferir na estimativa do índice, mas de acordo com Wells e Kofoid (1986), desde que dois ambientes foram amostrados, as estimativas de variâncias e covariâncias são, conseqüentemente, melhor estimadas. Crosbie et al. (1980), trabalhando com milho para tolerância a frio por seleção recorrente, argumentam que maiores ganhos poderiam ser alcançados se fossem coletados dados de peso seco/parcela em diversos locais.

Da dificuldade em se estabelecer os pesos econômicos para as diferentes características, Pesek e Baker (1969) propuseram um índice onde os pesos seriam substituídos pelos ganhos desejados para cada caráter. Pode-se verificar na Tabela 5 que o índice de Pesek e Baker (PB) foi o único que promoveu ganhos em todas as características no sentido almejado, independente do peso adotado, porém em proporções diferenciadas. Para FLO, ALT, PRO e MMG os pesos que proporcionaram maior ganho foram 10% da média (-4,44%), 10, 60, 300, 5 (-5,32%), $\hat{\sigma}_g$ (11,44%) e CVg (6,27%), respectivamente. O $\hat{\sigma}_g$ considerando todos os caracteres principais foi o que proporcionou o maior valor do agregado genotípico (18,95) para o índice de PB.

Eficiência do índice de Pesek e Baker foi constatada em outros trabalhos com diferentes culturas (BARBOSA et al., 1998; GEBRE-MARIAM e LARTER, 1996; GONÇALVES et al., 2007; GRANATE et al., 2002). Oliveira et al. (1999), trabalhando com a cultura da soja para aumento do período juvenil em experimentos à campo e em casa-de-vegetação, constataram a eficiência do índice de PB nas condições de casa-de-vegetação, mas menor eficiência em condições de campo.

Já Maêda et al. (2001) observaram que o índice de PB mostrou-se mais eficiente quando somente as características diretamente envolvidas na produção foram consideradas como principais. Fato também observado por Wells e Kofoid (1986) na cultura do trigo, onde a inclusão de caracteres secundários como peso do grão, comprimento da espiga, grãos por espiga e espiguetas por espigas não promoveram

aumentos consideráveis em eficiência. Segundo Paula et al. (2002), quando se trabalha com este índice deve-se priorizar determinadas características em detrimento de outras. Estes autores também verificaram maior flexibilidade do índice de PB na seleção das famílias e indivíduos que o índice clássico de SH, porém com menor eficiência.

O índice de Mulamba e Mock (MM) apresentou ganhos no sentido favorável quando foram considerados o CVg e 1, 1, 2, 1 como pesos (Tabela 5). Para o CVg foram alcançados ganhos de -1,79%, -0,31%, 14,29% e 3,39% para FLO, ALT, PRO e MMG, respectivamente. Este foi o índice que promoveu os maiores valores do agregado genotípico (H) quando os ganhos ocorreram nos sentidos propostos, sendo 19,78 para CVg e 19,38 para 1, 1, 2, 1. Convém salientar que maior valor de H não implica necessariamente que determinado índice seja superior a outro, deve ser levado em conta se o ganho que está sendo obtido nos caracteres está atendendo ou não aos interesses do melhoramento.

Trabalhando com soja e diferentes índices, Costa et al. (2004) concluíram que o índice de MM foi o mais adequado para as condições do experimento, com progressos em várias situações. Resultados semelhantes foram obtidos por Barbosa et al. (1998) no melhoramento de batata e por Gonçalves et al. (2007) trabalhando com a cultura do maracujá. Entretanto, Garcia e Souza Júnior (1999) não obtiveram resultados satisfatórios com este índice em milho.

Índices livres de parâmetros, como o de MM, caracterizam-se por eliminar a necessidade de fixar pesos aos vários caracteres e de estimar as variâncias e covariâncias fenotípicas e genotípicas, estimativas estas que muitas vezes provocam distorções no índice clássico, em função da baixa precisão a que estão associadas (BARBOSA et al., 1998). Pelos mesmos motivos, estes índices são considerados como fenotípicos. Assim, os ganhos esperados podem estar sub ou superestimados, podendo não refletir os ganhos realmente observados, devendo ser vistos com maior cautela.

Para o índice restrito de Kempthorne e Nordskog (KN), verifica-se sempre os mesmos ganhos, independente dos pesos adotados (Tabela 5). Foram verificados ganhos de 0,60% para FLO, -0,17% para ALT, 16,64% para PRO e 1,65% para MMG. Os ganhos para FLO não foram no sentido desejado, porém o ganho obtido (0,60%) foi praticamente nulo, podendo ser afirmado que este índice cumpriu os propósitos de seleção.

Quanto ao fato dos ganhos terem sido os mesmos sob todos os pesos utilizados, isso é devido às restrições impostas para o estabelecimento do índice, uma vez que foram impostos ganhos nulos para os caracteres FLO e ALT. Segundo Cruz e Carneiro (2003) a metodologia desenvolvida por Kempthorne e Nordskog (1959) faz com que a covariância entre o índice e a função linear dos valores genotípicos dos caracteres que o melhorista não queira alterar seja nula. Como a covariância dos valores genéticos das características em restrição com os escores do índice é nula, a seleção com base nestes escores não alterará a média destas características. De acordo com Wells e Kofoid (1986) a seleção baseada no índice de KN maximiza o ganho no agregado genotípico com a restrição de que a resposta em um outro caráter ou grupo de caracteres seja zero.

Diante das restrições de ganhos em FLO e ALT, a seleção baseou-se apenas na PRO e MMG. Verificou-se que os diferentes pesos estudados classificaram sempre os mesmos genótipos, alterando apenas a ordem de classificação destes quando se alterava o peso. Sucesso para ausência de ganhos em altura de plantas de trigo trabalhando com índice de restrição foi obtido por Wells e Kofoid (1986).

TABELA 6. Porcentagem de genótipos comuns entre os índices que promoveram ganho no sentido desejado (decréscimo para floração e altura e, acréscimo para produção e massa de mil grãos), na seleção de famílias de trigo.

Índices ¹	Famílias comuns (%) ²							
	MM (CVg)	KN	PB ($\hat{\sigma}_g$)	PBa ($\hat{\sigma}_g$)	PB (1,1,2,1)	MM (1,1,2,1)	PB (10% média)	PB (10,60,300,5)
PB (CVg)	50,0	29,2	50,0	31,3	77,1	58,3	72,9	29,2
MM (CVg)		62,5	68,8	58,3	37,5	81,3	60,4	56,3
KN			62,5	68,8	25,0	50,0	35,4	60,4
PB ($\hat{\sigma}_g$)				72,9	52,1	64,6	70,8	75,0
PBa ($\hat{\sigma}_g$)					25,0	45,8	37,5	89,6
PB (1,1,2,1)						64,6	72,9	29,2
MM (1,1,2,1)							75,0	50,0
PB 10% média								37,5

¹PB: índice de Pesek e Baker; PBa: índice de Pesek e Baker considerando os caracteres FLO e MMG como secundários; MM: índice de soma de “ranks de Mulamba e Mock; KN: índice de Kempthorne e Nordskog; CVg: coeficiente de variação genético; $\hat{\sigma}_g$: desvio padrão genético; 1, 1, 2, 1 e 10, 60, 300, 5: pesos obtidos por tentativas; 10% da média do caráter: 5,5, 9,3, 36,0, 3,8.

²Porcentagem comum do total de 48 famílias selecionadas.

Na Tabela 6 está expressa a porcentagem de genótipos comuns entre os índices que apresentaram ganho no sentido desejado. Para o índice KN não foi especificado o peso, pois todos os pesos adotados selecionaram sempre as mesmas famílias. Foi adotada intensidade de seleção de 20%, totalizando 48 famílias selecionadas do total de 240 avaliadas.

Os índices que apresentaram a menor quantidade de genótipos comuns foram o de KN versus PB (1, 1, 2, 1) e PBa ($\hat{\sigma}_g$) versus PB (1, 1, 2, 1), ambas as comparações apresentaram apenas 12 famílias em comum, ou seja, 25% de igualdade na seleção das famílias. Os índices que apresentaram a maior quantidade de famílias comuns foram o de PB (10, 60, 300, 5) e PBa ($\hat{\sigma}_g$), com 43 ou 89,6% de famílias iguais. De fato, constata-se que estes dois índices foram os que apresentaram os ganhos mais semelhantes entre os diferentes caracteres (Tabela 5). O índice de MM (1, 1, 2, 1) apresentou bastante semelhança com MM (CVg), selecionando 81,3% de famílias comuns (Tabela 6).

De uma forma geral, os índices utilizados foram eficientes aos propósitos do trabalho, com exceção do índice clássico de Smith-Hazel que não promoveu ganhos no sentido desejado para todas as características. Contudo, deve ser salientado que este índice é mais eficaz para os casos em que se queira obter ganhos para todas as características, o que não é o propósito deste trabalho. Com o índice de PB foi possível de se predizer ganhos satisfatórios para diferentes pesos testados, sendo o $\hat{\sigma}_g$ o melhor peso para alcance dos ganhos desejados, que foram de -0,75% em floração, -4,26% em altura, 11,44% em produção e 0,49% em massa de mil grãos quando se considerou a FLO e a MMG como caracteres secundários. Os índices de MM (CVg) e KN apresentaram maior ganho em produtividade, 14,29% e 16,64% (Tabela 5), respectivamente, porém a altura manteve-se praticamente inalterada com ganhos de apenas -0,31% e -0,17% para MM (CVg) e KN, respectivamente.

Tipo de planta semi-anã é desejado na maioria das regiões produtoras de trigo pela associação com resistência ao acamamento (WELLS e KOFOID, 1986), contudo, cabe ao melhorista avaliar e definir a melhor alternativa para atender seus interesses. Se o objetivo principal for limitar o ganho em altura ganhando-se o máximo em produção, o índice de KN deve ser preferido. Mas, se a redução em altura for extremamente necessária, mesmo que implique em menores ganhos em produção de grãos, o índice de PB foi o mais adequado.

Diferentes índices representam diferentes alternativas de seleção e, mesmo considerando um único tipo de índice, existem diferentes maneiras de manipular os números, de forma que o melhorista possa identificar de maneira rápida e eficiente, materiais genotípicos que possam ser mais adequados aos seus propósitos de melhoramento (CRUZ e CARNEIRO, 2003).

CONCLUSÕES

O uso de índices de seleção possibilitou a predição de ganhos simultâneos em todas as características avaliadas, sendo os índices de Mulamba e Mock, de Pesek e Baker e de Kempthorne e Nordskog os mais adequados para obtenção de ganhos nos sentidos desejados para todos os caracteres;

O índice de Smith-Hazel não se adequou aos propósitos do trabalho;

Com o índice de Pesek e Baker foram preditos ganhos nos sentidos almejados com os diferentes pesos adotados e onde foram preditos os maiores ganhos para altura de plantas;

Desejando-se obter o máximo de ganho em produção, sem alterar a altura e ciclo das plantas, o índice de Kempthorne e Nordskog mostrou-se o mais eficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: Agra FNP – Instituto FNP, 2007. 515p.

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.

BEARZOTI, E. **Simulação de seleção recorrente assistida por marcadores moleculares em espécies autógamas**. 1997. 230p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1997.

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.

CARGNIN, A.; SOUZA, M.A.; CARNEIRO, P.C.S.; SOFIATTI, V. Interação entre genótipos e ambientes e implicações em ganhos com seleção em trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.6, p.987-993, jun., 2006.

CECCARELLI, S. Specific adaptation and breeding for marginal conditions. **Euphytica**, Wageningen, v.77, p.205-219, 1994.

COELHO, A.S.G. **Crítérios de seleção para tolerância ao déficit hídrico em uma população de milho** (*Zea mays* L.). 1995. 77p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1995.

COMISSÃO CENTRO - BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO. **Informações técnicas para a cultura de trigo na Região do Brasil - Central: safras 2005 e 2006**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2005. 85p.

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, nov., 2004.

CROSBIE, T.M.; MOCK, J.J.; SMITH, O.S. Comparison of gains predicted by several selection methods for cold tolerance traits of two maize populations. **Crop Science**, Madison, v.20, n.5, p.649-655, 1980.

CRUZ, C.D. **Programa Genes: aplicativo computacional em genética e estatística** – versão Windows. Viçosa: UFV, 2001. 648p.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Editora UFV, 2003. 2v. v.2. 585p.

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

CUNNINGHAM, E.P.; MOEN, R.A.; GJEDREM, T. Restriction of selection indexes. **Biometrics**, v.26, p.67-74, 1970.

ELSTON, R.C. A weight-free index for the purpose of ranking or selection with respect to several traits at a time. **Biometrics**, North Carolina, v.19, p.85-87, 1963.

FOKAR, M.; NGUYEN, H.T.; BLUM, A. Heat tolerance in spring wheat. I. Estimating cellular thermotolerance and its heritability. **Euphytica**, Wageningen, v.104, p.1-8, 1998.

GARCIA, A.A.F.; SOUZA JÚNIOR, C.L. de. Comparação de índices de seleção não paramétricos para a seleção de cultivares. **Bragantia**, Campinas, v.58, p.253-267, 1999.

GEBRE-MARIAM, H.; LARTER, E.N. Genetic response to index selection for grain yield, kernel weight and per cent protein in four wheat crosses. **Plant Breeding**, Berlin, v.115, n.6, p.459-464, 1996.

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.

HAZEL, L.N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, Austin, v.28, p.476-490, 1943.

IQBAL, M.; NAVABI, A.; SALMON, D.F.; YANG, R.-C.; SPANER, D. Simultaneous selection for early maturity, increased grain yield and elevated grain protein content in spring wheat. **Plant Breeding**, Berlin, v.126, p.244-250, 2007.

KEMPTHORNE, O.; NORDSKOG, A.W. Restricted selection indices. **Biometrics**, v.125, p.0-19, 1959.

KHANNA-CHOPRA, R.; VISWANATHAN, C. Evaluation of heat stress tolerance in irrigated environment of *T. aestivum* and related species. I. Stability in yield and yield components. **Euphytica**, Wageningen, v.106, n.2, p.169-180, 1999.

MAÊDA, J.M.; PIRES, I.O.; BORGES, R.C.G.; CRUZ, C.D. Critérios de seleção uni e multivariados no melhoramento genético da *Virola surinamensis* Warb. **Floresta e Ambiente**, v.8, n.1, p.61-69, jan./dez., 2001.

MSTAT. **Microcomputer statistical program**. Michigan: Michigan State University, 1983.

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

NOAMAN, M.M.; TAYLOR, G.A.; MARTIN, J.M. Indirect selection for grain protein and grain yield in winter wheat. **Euphytica**, Wageningen, v.47, p.121-130, 1990.

NUNES, G.H.S.; SANTOS, J.B.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B. Seleção de famílias de feijão adaptadas às condições de inverno no Sul de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.11, p.2051-2058, nov., 1999.

OLIVEIRA, A.C.B.; SEDIYAMA, C.S.; CRUZ, C.D. Selection for later flowering in soybean (*Glycine max* L. Merrill) F2 populations cultivated under short day conditions. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v.22, p.243-247, 1999.

PAULA, R.C.; PIRES, I.E.; BORGES, 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.

PESEK, J.; BAKER, R.J. Desired improvement in relation to selected indices. **Canadian Journal of Plant Sciences**, Ottawa, v.49, p.803-804, 1969.

RANE, J.; NAGARAJAN, S. High temperature index – for field evaluation of heat tolerance in wheat varieties. **Agricultural Systems**, v.79, p.243-255, 2004.

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

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

SINGH, G.P.; CHAUDHARY, H.B. Selection parameters and enhancement of wheat (*Triticum aestivum* L.) under different moisture stress conditions. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.5, n.5, p.894-898, 2006.

SMITH, H.F. A discriminant function for plant selection. **Annual Eugenics**, 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.

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, out., 2001.

STONE, P.J.; NICOLAS, M.E. Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post-anthesis heat stress. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v.21, p.887-900, 1994.

TALLIS, G.M. A selection index for optimum genotype. **Biometrics**, v.18, p.120-122, 1962.

UD-DIN, N.; CARVER, B.F.; CLUTTER, A.C. Genetic analysis and selection for wheat yield in drought-stressed and irrigated environments. **Euphytica**, Wageningen, v.62, n.2, p.89-96, 2004.

WARDLAW, I.F.; DAWSON, I.A.; MUNIBI, P. The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth: II Grain development. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v.40, n.1, p.15-24, 1989.

WARDLAW, I.F.; WRIGLEY, C.W. Heat tolerance in temperate cereals: An overview. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v.21, p.695-703, 1994.

WELLS, W.C.; KOFOID, K.D. Selection indices to improve an intermating population of spring wheat. **Crop Science**, Madison, v.26, n.6, p.1104-1109, nov./dec., 1986.

WILLIAMS, J.S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, North Carolina, v.18, p.375-393, 1962.

YANG, J.; SEARS, R.G.; GILL, B.S.; PAULSEN, G.M. Growth and senescence characteristics associated with tolerance of wheat-alien amphiploids to high temperature under controlled conditions. **Euphytica**, Wageningen, v.126, n.2, p.185-193, 2002.

CONCLUSÕES GERAIS

Foi constatada existência de variabilidade genética para tolerância ao calor em genótipos de trigo avaliados nas condições de Viçosa-MG;

Diferenças de temperatura entre as fases de semeadura e florescimento foram determinantes nas variações das características entre os ambientes para os genótipos avaliados;

Todos os caracteres avaliados apresentaram redução sob altas temperaturas, sendo a produção de grãos o caráter mais afetado, seguido da altura, floração e massa de mil grãos;

Os genótipos mais tolerantes ao calor foram os genitores 2 (BR 24), 3 (Aliança) e 4 (EP 93541) e as populações segregantes 1 (BH1146/BR24//Aliança/EP93541), 2 (BR24/Aliança//EP93541/CPAC9662) e 3 (Aliança/EP93541//CPAC9662/Pioneiro);

A predição de ganhos utilizando índices de seleção mostrou-se eficiente para o melhoramento das características avaliadas, sendo os índices de Mulamba e Mock, de Pesek e Baker e de Kempthorne e Nordskog os mais adequados para obtenção de ganhos nos sentidos desejados para todos os caracteres;

Com o índice de Pesek e Baker foram preditos ganhos nos sentidos almejados com os diferentes pesos adotados e onde foram preditos os maiores ganhos para altura de plantas;

O máximo de ganho em produção, sem alterar a altura e ciclo das plantas, pode ser obtido com o índice de Kempthorne e Nordskog.