

ADÉRICO JÚNIOR BADARÓ PIMENTEL

**CARACTERIZAÇÃO DE CULTIVARES PARA TOLERÂNCIA AO CALOR E  
METODOLOGIAS PARA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS EM TRIGO**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2014

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

T

P644c  
2014 Pimentel, Adérico Júnior Badaró, 1984-  
Caracterização de cultivares para tolerância ao calor e  
metodologias para seleção de genótipos em trigo / Adérico  
Júnior Badaró Pimentel. – Viçosa, MG, 2014.  
ix,61f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Moacil Alves de Souza.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. *Triticum aestivum*. 2. Trigo - Efeito da temperatura.  
3. Stress (Fisiologia). 4. Trigo - Melhoramento genético. 5. Trigo  
- Seleção. 6. REML/BLUP. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em  
Genética e Melhoramento. II. Título.

CDD 22. ed. 633.11

**ADÉRICO JÚNIOR BADARÓ PIMENTEL**

**CARACTERIZAÇÃO DE CULTIVARES PARA TOLERÂNCIA AO CALOR E  
METODOLOGIAS PARA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS EM TRIGO**

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

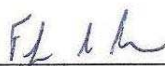
APROVADA: 28 de fevereiro de 2014



Prof. Pedro Crescêncio Souza Carneiro  
(Coorientador)



Prof. José Eustáquio de Souza Carneiro  
(Coorientador)



Prof. Felipe Lopes da Silva



Dr. Juarez Campolina Machado

  
Prof. Moacil Alves de Souza

(Orientador)

Aos meus pais, Adérico  
e Elice, pelo empenho para que eu  
chegasse até aqui.

**Dedico.**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pela vida e saúde.

Aos meus pais, Adérico (*in memoriam*) e Elice, pelo carinho, amor, preocupação e sacrifício em prol da minha educação e formação. Às minhas irmãs Elimácia e Zilmácia e aos meus cunhados Felipe e Cleto pelo apoio incondicional. Aos meus sobrinhos e afilhados Arthur, Thomás e Marcela pela felicidade que me proporcionam.

Ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, ao Departamento de Fitotecnia e à Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade concedida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos.

Ao Professor Moacil Alves de Souza pela orientação, ensinamentos, motivação e amizade no decorrer destes dez anos de convivência.

Aos professores Pedro Crescêncio Souza Carneiro e José Eustáquio de Souza Carneiro pelo aprendizado, incentivo e prazerosa convivência.

Ao professor Felipe Lopes da Silva pela participação nas bancas de qualificação e defesa de tese e pelas sugestões e colaboração no enriquecimento deste trabalho.

Ao Dr. Juarez Campolina Machado pela amizade e orientação desde o primeiro dia de estágio no Programa Trigo até os dias atuais.

Aos estagiários, mestrandos e doutorandos que fizeram parte do Programa Trigo ao longo desse tempo e aos funcionários da Agronomia pela prazerosa convivência e contribuição na condução das pesquisas.

Aos companheiros de luta: Rodrigo Lima, Gilberto Mendes, Carlos Alberto, João Filipi, Guilherme Ribeiro, Renata Dias e Vinícius Almeida.

A todos os colegas de curso, pela ajuda nos estudos, troca de experiências e convivência nos momentos difíceis.

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

A todos o meu muito obrigado!

## BIOGRAFIA

ADÉRICO JÚNIOR BADARÓ PIMENTEL, filho de Adérico Badaró Pimentel e Elice Rosa de Araújo Pimentel, nasceu em 13 de dezembro de 1984 na cidade de Guanambi, Bahia, Brasil.

Em 2002 formou-se Técnico em Agropecuária pela Escola Agrotécnica Federal Antônio José Teixeira, Guanambi - BA.

Em janeiro de 2008 foi diplomado Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

Em fevereiro de 2010 obteve o título de *Magister Scientiae* em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

Em março de 2010 ingressou no curso de Doutorado em Genética e Melhoramento da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, vindo a defender o título de *Doctor Scientiae*, em fevereiro 2014.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT .....	viii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	4
CAPÍTULO I .....	7
Caracterização de cultivares de trigo para tolerância ao calor e seus efeitos sobre componentes de produção .....	7
Resumo .....	8
Abstract.....	9
Introdução .....	10
Material e Métodos .....	11
Resultados e Discussão .....	13
Conclusões.....	20
Referências Bibliográficas .....	20
CAPÍTULO II.....	23
Análise dialélica parcial em gerações avançadas para seleção de populações segregantes de trigo.....	23
Resumo .....	24
Abstract.....	25
Introdução .....	26
Material e Métodos .....	27
Resultados e Discussão .....	29
Conclusões.....	34
Referências Bibliográficas .....	34
CAPÍTULO III.....	38
Estimação de parâmetros genéticos e predição de valor genético aditivo em trigo utilizando metodologia de modelos mistos (REML/BLUP).....	38
Resumo .....	39
Abstract.....	40
Introdução .....	41
Material e Métodos .....	43
Resultados e Discussão .....	47
Conclusões.....	58
Referências Bibliográficas .....	58
CONCLUSÕES GERAIS .....	60

## RESUMO

PIMENTEL, Adérico Júnior Badaró, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2014. **Caracterização de cultivares para tolerância ao calor e metodologias para seleção de genótipos em trigo.** Orientador: Moacil Alves de Souza. Coorientadores: Pedro Crescêncio Souza Carneiro e José Eustáquio de Souza Carneiro.

A magnitude do ganho genético obtido nos programas de melhoramento é proporcional ao conhecimento e adequação do germoplasma utilizado e à eficiência na seleção, que está diretamente ligada às estratégias de seleção e à capacidade das metodologias adotadas em discriminar o potencial do material genético. Os objetivos gerais deste trabalho foram: i) avaliar o efeito da temperatura elevada sobre a produtividade de grãos e caracterizar cultivares de trigo quanto à tolerância ao calor; ii) avaliar o uso da análise dialélica parcial em gerações avançadas como estratégia de seleção de populações; iii) estimar parâmetros genéticos e prever o valor genético utilizando a metodologia REML/BLUP; iv) selecionar populações segregantes com potencial para melhoramento. Para isso foram realizados três experimentos. No primeiro, nove cultivares de trigo foram avaliadas na presença e ausência de estresse de calor em condições de campo. Observou-se que o estresse de calor reduz a produtividade de grãos em trigo e que o número de grãos/espiga é o componente de produção que mais reduz sob condições de estresse de calor. As cultivares MGS 1 Aliança, Embrapa 42, IAC 24-Tucuruí e IAC 364-Tucuruí III são mais tolerantes ao calor entre o estádio de duplo anel e espiguetas terminal; MGS 1 Aliança, BRS 264, IAC 24-Tucuruí, IAC 364-Tucuruí III e VI 98053 entre a meiose e a antese; BRS 254, IAC 24-Tucuruí, IAC 364-Tucuruí III e VI 98053 entre a antese e a maturação fisiológica. No segundo experimento, 12 genitores e 36 populações segregantes, nas gerações  $F_2$  e  $F_3$ , obtidas de um dialelo parcial 6x6, foram avaliados quanto à capacidade de combinação para produtividade de grãos. Observou-se consistência na capacidade de combinação entre genitores nas gerações  $F_2$  e  $F_3$ . Conclui-se que a utilização da análise dialélica parcial em gerações avançadas é estratégia promissora para seleção de genitores e populações no melhoramento de trigo. Por esta metodologia, as populações provenientes do cruzamento entre os genitores BRS 264, IAC 364-Tucuruí III e BRS 254 com o MGS 1 Aliança, UFVT 1 Pioneiro e VI 98053 apresentam maior potencial para obtenção de linhagens superiores para o caráter produtividade de grãos. No terceiro experimento, 36 populações segregantes na geração  $F_3$  e quatro testemunhas foram avaliadas em blocos ao acaso com informação de indivíduo dentro da parcela para os caracteres produção de grãos, índice de colheita, número de perfilhos e altura de planta. Constatou-se que na avaliação de plantas



individuais em trigo a variação ambiental dentro de parcela ou entre plantas apresenta contribuição majoritária para a variância fenotípica total. Os caracteres produção de grãos, índice de colheita, número de perfilhos e altura de planta apresentaram herdabilidade, ao nível de média, variando de 39,15 a 92,78% e acurácias na seleção de populações variando de 62,57 a 96,32%. As herdabilidades individuais no sentido restrito e a acurácia na seleção individual apresentaram valores de baixa magnitude. Para os caracteres altura de planta e índice de colheita a herdabilidade individual contribui para um maior ganho com o BLUP individual em relação ao BLUP de populações.

## ABSTRACT

PIMENTEL, Adérico Júnior Badaró, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2014. **Characterization of cultivars for heat tolerance and methodologies to select wheat genotypes.** Adviser: Moacil Alves de Souza. Co-advisers: Pedro Crescêncio Souza Carneiro and José Eustáquio de Souza Carneiro.

The magnitude of genetic gain obtained in breeding programs is proportional to the knowledge and suitability of germplasm used and the selection efficiency, which is directly related with the selection strategies and ability of the methodologies used to discriminate the potential of genetic material. The aims of this study were to (i) evaluate the effect of high temperature on grain yield and characterize heat-stress tolerant wheat cultivars (ii) evaluate the use of partial diallel analysis in advanced generations as selection strategy of potential segregating populations (iii) estimate genetic parameters and to predict the breeding values using the methodology REML/BLUP (iv) select segregating populations with potential for breeding. For these purposes, three experiments were conducted. In the first experiment, nine wheat cultivars were evaluated on the field under heat stress and normal conditions. It was observed that heat stress reduced grain yield in wheat. The grain number/spike is the yield component that most reduces under conditions of heat stress. The MGS 1 Aliança, Embrapa 42, IAC 24-Tucuruí, and IAC 364-Tucuruí III cultivars were more heat-stress tolerant during the double ring and terminal spikelet stages. The MGS 1 Aliança, BRS 264, IAC 24-Tucuruí, IAC 364-Tucuruí III, and VI 98053 cultivars were more heat-stress tolerant between meiosis and anthesis stages, and BRS 254, IAC 24-Tucuruí, IAC 364-Tucuruí III, and VI 98053 cultivars were more heat-stress tolerant between anthesis and physiological maturation stages. In the second experiment, 12 parental lines and 36 segregating populations in F<sub>2</sub> and F<sub>3</sub> generations, obtained through a 6x6 partial diallel scheme, were evaluated for the combining ability for grain yield. There was consistency for combining ability between parental lines in F<sub>2</sub> and F<sub>3</sub> generations. The use of the partial diallel analysis in advanced generations is promising strategy for selection of parents and segregating populations in wheat breeding. The populations derived from the crossings among the parental lines BRS 264, IAC 364-Tucuruí III and BRS 254, and MGS 1 Aliança, UFVT 1-Pioneiro and VI 98053 showed the greatest potential for obtaining lines with high grain productive potential. In the third experiment, 36 segregating populations in the F<sub>3</sub> generation, and four checks were evaluated in randomized complete block design with individual information within the plot to the traits grain yield, harvest index, number of tillers and plant height. It was found that the

evaluation of individual wheat plant at environmental variation within the plot or between plants was the main contribution to the total phenotypic variation. The traits grain yield, harvest index, number of tillers and plant height showed heritability, at population level, ranging from 39.15 to 92.78%, and accuracy in the selection of populations ranging from 62.57 to 96.32%. Individual narrow sense heritability and accuracy in the individual selection presented values of low magnitude. For plant height and harvest index individual heritability contributes to greater gain in the individual BLUP in relation to the populations BLUP.

## INTRODUÇÃO GERAL

O trigo (*Triticum aestivum* L.) consiste em um dos cereais mais importantes em todo o mundo e é processado para uma gama de produtos que compõem a dieta de grande parte da população. Na última safra (2012/2013) sua produção foi superior a 653 milhões de toneladas, representando cerca de 30% da produção mundial de grãos (USDA, 2013).

No Brasil o consumo de trigo é de aproximadamente 55 kg/habitante/ano, o que corresponde a um consumo interno anual em torno de 10,5 milhões de toneladas. Apesar da importância desse cereal na dieta dos brasileiros, a produção nacional não supre a demanda interna. De acordo com De Mori e Silva (2013), a contribuição da produção para o consumo interno tem oscilado de 17,8% (safra 2000/2001) a 63% (safra 2003/2004). Entre 2008 e 2012 a produção brasileira representou, aproximadamente, 54% da demanda nacional, o que faz do Brasil o segundo maior importador de trigo do mundo; o primeiro é o Egito. Além da dependência externa para o abastecimento deste produto essencial, a importação de trigo gera evasão de divisas. Em 2012 foram gastos mais de US\$ 1,7 bilhão com a importação desse produto (CONAB, 2013).

Como agravante, as projeções do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento apontam que o consumo interno de trigo no País deverá crescer em média 1,2% ao ano, entre 2010/2011 e 2020/2021. Nesse período a produção deverá alcançar 6,2 milhões de toneladas, frente a um consumo de 11,7 milhões de toneladas no mesmo ano. Apesar da produção de trigo crescer nos próximos anos em ritmo superior ao consumo, o Brasil deve manter-se como um dos maiores importadores mundiais de trigo (MAPA, 2011).

A redução da dependência externa e dos gastos com importação de trigo só será possível com o aumento da produção nacional. Para isso é necessário a adoção de políticas públicas que favoreçam os diversos elos da cadeia produtiva. Ao mesmo tempo, é preciso que os programas de melhoramento genético disponham de metodologias e critérios de seleção que lhes permitam ser mais eficientes na identificação de linhagens com alto potencial produtivo e que apresentem adaptação às novas condições de cultivo; mais tolerantes a estresses bióticos e abióticos.

O trigo é cultivado em áreas situadas entre 67° de latitude norte e 45° de latitude sul (Feldman, 1995). Melhor adaptação ocorre em regiões de clima temperado, de tal forma que a produção mundial desse cereal está concentrada entre os paralelos 20-40° S

e 20-60° N. Em regiões tropicais e subtropicais o trigo também é cultivado, porém as temperaturas raramente propiciam condições ideais para o pleno desenvolvimento da cultura. Nessas circunstâncias, o cultivo do trigo só é viável com cultivares tolerantes ao estresse por calor (Souza e Pimentel, 2013).

A Região do Brasil Central, envolvendo Minas Gerais, parte de São Paulo, Goiás, Mato Grosso, Distrito Federal, parte da Bahia e do Mato Grosso do Sul, constitui ótima alternativa para expansão da área tritícola brasileira; tanto para cultivo sequeiro quanto irrigado. As condições edafoclimáticas dos Cerrados, associadas ao desenvolvimento de cultivares de trigo adaptadas às condições locais, resultam em potencial para o desenvolvimento da cultura nessa região, o qual vem sendo consolidado na última década. O estado de Minas Gerais, por exemplo, pode alcançar mais de um milhão de hectares e tornar-se um polo de produção de trigo de alta qualidade industrial para panificação (De Mori e Silva, 2013).

Na região dos Cerrados brasileiros o risco de frustração de safras é mínimo, pois a possibilidade de ocorrência de fatores climáticos adversos, como geadas e granizo, é praticamente inexistente; a colheita é realizada em época de baixa possibilidade de chuva e a umidade relativa do ar é baixa durante a maior parte do ciclo da cultura, o que contribui para diminuir a ocorrência de doenças. Esses fatores tornam o trigo um atrativo para os agricultores da Região Central do Brasil (Condé et al., 2013a).

A despeito das vantagens apresentadas, a produção obtida no Brasil Central ainda é pouco expressiva no cenário nacional. Apesar de apresentar produtividade superior às demais regiões, a área cultivada ainda é limitada, dentre outros fatores, pela temperatura elevada (Souza e Ramalho, 2001). O excesso de calor afeta vários caracteres da planta, que culmina com a redução do potencial produtivo da cultura. Perdas de até 50% no potencial produtivo da cultura do trigo em função do estresse por calor foram registradas por Cargnin et al. (2006) e Oliveira et al. (2011), em Minas Gerais.

Sobretudo em função da temperatura, o cultivo de trigo no Brasil Central é regido por premissas que devem ser atendidas, principalmente em termos de limites mínimos de altitude, época de semeadura e cultivares a serem utilizadas (Condé et al., 2013b). A redução da altitude é acompanhada de aumento da temperatura. Pelo zoneamento agrícola, o cultivo do trigo nessa região está restrito a áreas com altitude igual ou superior a 500 m para cultivo de trigo irrigado e a 800 m para cultivo de sequeiro (Comissão..., 2011).

Devido às características específicas do cerrado, as cultivares desenvolvidas para os Estados do Sul do Brasil, com raras exceções, dificilmente adaptam-se a essa região ou apresentam o comportamento esperado (Condé e Coelho, 2009). Neste contexto, o desenvolvimento de cultivares com tolerância ao calor tem sido preocupação dos melhoristas desde o início dos estudos com a cultura do trigo na Região do Brasil-Central.

As temperaturas ideais para o crescimento da planta de trigo variam de acordo com suas fases de desenvolvimento: 20 °C na germinação, 8 °C na fase vegetativa, 15 °C na fase reprodutiva e 18 °C da floração à maturação fisiológica dos grãos (Souza e Pimentel, 2013). Reconhece-se que o trabalho de adaptação do trigo às temperaturas superiores à faixa ideal e de ocorrência no Brasil Central tem sido bem sucedido, haja vista que, hoje, se cultiva trigo em pleno cerrado, obtendo-se produto de qualidade comparável ao canadense, considerado padrão de excelência em qualidade, e produtividade superior aos demais estados brasileiros. Não obstante, as ações de pesquisa na área de melhoramento genético devem receber especial atenção para dar continuidade ao trabalho no sentido de aumentar o potencial produtivo. Há de se considerar que a região dos cerrados possui grande variação ambiental, influenciada pelo solo, temperatura, umidade e altitude. Ainda não há cultivares capazes de apresentar desempenho produtivo satisfatório em todas essas variações ambientais.

Superar os níveis atuais de produtividade apresentados pelas cultivares em uso não é tarefa fácil para os programas de melhoramento. A magnitude do ganho genético obtido será proporcional ao conhecimento e adequação do germoplasma utilizado aos fins de melhoramento e à eficiência no processo de seleção, que está diretamente ligado às estratégias de seleção e à capacidade das metodologias adotadas em discriminar o potencial dos genótipos avaliados.

A seleção de genitores para hibridação e predição do potencial genético de populações segregantes, se realizada em gerações precoces, pode proporcionar maior eficiência na identificação de genótipos superiores em gerações avançadas. Isso porque o conhecimento prévio do potencial das populações geradas permite que aquelas pouco promissoras sejam eliminadas nas gerações iniciais. Desse modo, maior ênfase pode ser dada à seleção dentro das populações superiores, o que aumenta a probabilidade de sucesso e evita a perda de tempo e recurso financeiro (Oliveira et al., 1996).

A análise dialélica é apontada como método de predição promissor para a escolha de genitores e de populações segregantes superiores (Bertan et al., 2007;

Pimentel et al. 2013). Todavia, a avaliação do dialelo em muitos ambientes é limitada pela pequena quantidade de semente disponível na geração F<sub>1</sub>, devido à dificuldade na realização dos cruzamentos e o número limitado de sementes híbridas obtidas por polinização na cultura do trigo. Uma alternativa é a avaliação do dialelo em gerações avançadas, tais como F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>, onde a disponibilidade de sementes é maior.

Além da análise dialélica, metodologias que envolvem modelos mistos constituem tendência recente no melhoramento genético de plantas autógamas anuais por fornecerem parâmetros adicionais importantes na identificação de genótipos superiores (Maia et al., 2011; Ramalho e Araújo, 2011). O uso de modelos mistos do tipo REML/BLUP é fundamental para a predição de valores genéticos aditivos e genotípicos, tanto em nível intrapopulacional como interpopulacional (Resende, 2000). Mesmo sob condições de desbalanceamento, essa abordagem permite a predição acurada e não viesada dos valores genéticos e propicia informações específicas sobre o mérito da progênie, de indivíduos nas progênies e até mesmo considerando o ambiente da repetição onde está localizado um indivíduo (Resende, 2007).

Nesse contexto, os objetivos gerais deste trabalho foram: i) estudar o efeito da temperatura elevada sobre a produtividade de grãos e seus componentes; ii) caracterizar cultivares de trigo quanto à tolerância ao calor em diferentes estádios de desenvolvimento; iii) avaliar o uso da análise dialélica parcial em gerações avançadas como estratégia de seleção em trigo; iv) estimar parâmetros genéticos e prever o valor genético em trigo utilizando a metodologia REML/BLUP; v) identificar populações segregantes com potencial para gerar linhagens superiores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTAN, I.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C. Parental selection strategies in plant breeding programs. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v.10, p.211-222, 2007.

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

COMISSÃO BRASILEIRA DE TRIGO E TRITICALE. **Informações técnicas para trigo e triticale - safra 2012**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. 204p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Indicadores da agropecuária**. Brasília: CONAB, 2013. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br> >. Acesso em: 20 out. 2013.

- CONDÉ, A.B.T.; ANDRADE, A.T.; MARTINS, F.A.D.; SOARES SOBRINHO, J.; MORESCO, E.R.; CAIXETA, C.G. Trigo de sequeiro: potencialidades. **Informe Agropecuário**, v.34, p.24-29, 2013a.
- CONDÉ, A.B.T.; COELHO, M.A.O. Novas cultivares aumentam produtividade do trigo. **Informe Agropecuário**, v. 30, p.152-157, 2009.
- CONDÉ, A.T.B.; MORESCO, E.R.; MARTINS, F.A.D.; ANDRADE, A.T. Trigo Irrigado: Potencialidades. **Informe Agropecuário**, v. 34, p.19-23, 2013b.
- DE MORI, C.; SILVA, M.S. Panorama da triticultura no Brasil e em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v.34, p.7-18, 2013.
- FELDMAN, M. Wheats. In: SMARTT, J.; SIMMONDS, N.W. (eds.). **Evolution of crop plants**. Harlow, UK: Longman Scientific and Technical, 1995. p.185–192.
- MAIA, M.C.C.; RESENDE, M.D.V.; OLIVEIRA, L.C.; ÁLVARES, V.S.; MACIEL, V.T.; LIMA, A.C. Seleção de clones experimentais de cupuaçu para características agroindustriais via modelos mistos. **Revista Agro@ambiente**, v.5, p. 35-43, 2011.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Brasil projeções do agronegócio 2010/2011 a 2020/2021**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2011, p.18-19.
- OLIVEIRA, D.M.; SOUZA, M.A.; ROCHA, V.S.; ASSIS, J.C. Desempenho de genitores e populações segregantes de trigo sob estresse de calor. **Bragantia**, v.70, p.25-32, 2011.
- OLIVEIRA, L.B.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B.; FERREIRA, D.F. Alternative procedures for parent choice in a breeding program for the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Brazilian Journal of Genetics**, v.19, p.611-615, 1996.
- PIMENTEL, A.J.B.; RIBEIRO, G.; SOUZA, M.A.; MOURA, L.M.; ASSIS, J.C.; MACHADO, J.C. Comparação de métodos de seleção de genitores e populações segregantes aplicados ao melhoramento de trigo. **Bragantia**, v.72, p.113-121, 2013.
- RAMALHO, M.A.P.; ARAÚJO, L.C.A. Breeding self-pollinated plants. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, S1, p.1-7, 2011.
- RESENDE, M.D.V. **Análise estatística de modelos mistos via REML/BLUP na experimentação em melhoramento de plantas perenes**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 101p. (Documentos, 47).
- RESENDE, M.D.V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 362 p.
- SOUZA, M.A.; PIMENTEL, A.J.B. Estratégias de seleção para melhoramento do trigo com tolerância ao estresse por calor. **Informe Agropecuário**, v. 34, p. 30-39, 2013.
- SOUZA, M.A.; RAMALHO, M.A.P. Controle genético e tolerância ao estresse de calor em populações híbridas e em cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1245-1253, 2001.



USDA. Foreign Agricultural Service. **Grain: world markets and trade**. Washington, 2013. 55p (USDA. Circular FG 02-13). Disponível em: <http://usda01.library.cornell.edu/usda/fas/grain-market//2010s/2013/grain-market-02-08-2013.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2014.

## CAPÍTULO I

**Caracterização de cultivares de trigo para tolerância ao calor e seus efeitos sobre componentes de produção**

**Characterization of wheat cultivars for heat tolerance and effects on yield components**

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2014

## Resumo

PIMENTEL, Adérico Júnior Badaró, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2014. **Caracterização de cultivares de trigo para tolerância ao calor e seus efeitos sobre componentes de produção.** Orientador: Moacil Alves de Souza. Coorientadores: Pedro Crescêncio Souza Carneiro e José Eustáquio de Souza Carneiro.

A obtenção de cultivares de trigo tolerantes ao calor é premente diante da necessidade de expansão da área de cultivo para regiões quentes. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da temperatura elevada sobre a produtividade de grãos de trigo e seus componentes e caracterizar cultivares quanto à tolerância ao calor em distintos estádios de desenvolvimento. Nove cultivares foram avaliadas em campo na ausência e presença de estresse de calor. O estresse foi obtido pela condução do experimento em épocas contrastantes para temperatura. Os caracteres avaliados foram número de espiguetas/espiga, número de grãos/espiga, número de grãos/espiguetas, peso de mil grãos, produtividade de grãos e ciclo. A quantificação dos efeitos do estresse e a classificação das cultivares quanto à tolerância ao calor foi obtida pelo índice proposto por Wardlaw et al. (1989) e Fischer e Mauer (1978). A temperatura elevada reduziu todos os caracteres avaliados. O número de grãos/espiga foi o componente de produção mais afetado. As cultivares MGS 1 Aliança, Embrapa 42, IAC 24-Tucuruí e IAC 364-Tucuruí III são mais tolerantes entre o estádio de duplo anel e espiguetas terminal; MGS 1 Aliança, BRS 264, IAC 24-Tucuruí, IAC 364-Tucuruí III e VI 98053 entre a meiose e a antese; e BRS 254, IAC 24-Tucuruí, IAC 364-Tucuruí III e VI 98053 entre a antese e a maturação fisiológica. As cultivares MGS 1 Aliança, BRS 254, IAC 24-Tucuruí, IAC 364-Tucuruí III e VI98053 apresentam maior grau de tolerância ao estresse de calor.

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum*, melhoramento genético, estresse abiótico, temperatura elevada.

## Abstract

PIMENTEL, Adérico Júnior Badaró, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2014. **Characterization of wheat cultivars for heat tolerance and effects on yield components.** Adviser: Moacil Alves de Souza. Co-advisers: Pedro Crescêncio Souza Carneiro and José Eustáquio de Souza Carneiro.

The identification of heat tolerant wheat cultivars is urgent given need for expansion of cultivation areas in warmer regions. The objective of this study was to evaluate the effect of high temperature on the productivity of wheat grains and its components, and characterize the heat tolerance in cultivars in different stages of development. Nine cultivars were evaluated on the field in the absence and presence of heat stress. Stress was obtained by conducting the experiment in different seasons for temperature. The following characters were evaluated: number of spikelets/spike, number of grains/spike, number of grains/spikelet, thousand grains weight, grain yield and cycle. The measurement of the effects of stress and classification of cultivars to heat tolerance was obtained by the index proposed by Wardlaw et al. (1989) and Fischer and Mauer (1978). High temperature caused reduction in all characters evaluated. The number of grains/spike was the yield component most affected. The MGS 1 Aliança, Embrapa 42, IAC 24-Tucuruí, and IAC 364-Tucuruí III are more tolerant during the double ring and terminal spikelet stages; MGS 1 Aliança, BRS 264, IAC 24-Tucuruí, IAC 364-Tucuruí III, and VI 98053, between meiosis and anthesis; and BRS 254, IAC 24-Tucuruí, IAC 364-Tucuruí III and VI 98053, between anthesis and physiological maturation. MGS 1 Aliança, BRS 254, IAC 24-Tucuruí, IAC 364-Tucuruí III, and VI 98053 cultivars stands out by showing the highest degree of tolerance to heat stress.

**Key words:** *Triticum aestivum*, genetic improvement, abiotic stress, high temperature.

## Introdução

Diante da demanda crescente de trigo para consumo humano, estimada em 1,6% ao ano até 2020 (Ortiz et al., 2008), a triticultura vem ocupando áreas consideradas marginais para o pleno desenvolvimento da cultura. Essas áreas estão situadas, frequentemente, em regiões com menor latitude onde o estresse de calor é o fator mais limitante da produção de grãos (Lillemo et al., 2005). Isso torna a tolerância ao calor um dos principais objetivos dos programas de melhoramento genético de trigo no mundo (Mohammadi et al., 2008).

No Brasil, o trigo cultivado na região de cerrado apresenta vantagens em relação ao cultivado nas demais regiões produtoras, tais como: qualidade e produtividade de grãos superior, possibilidade de cultivo de sequeiro e irrigado, e melhor competitividade de preço no mercado nacional. Porém, a produção obtida é pouco expressiva no cenário nacional, pois a área cultivada é limitada pela temperatura elevada.

O estresse de calor é definido como o aumento da temperatura acima de um valor crítico suficiente para causar danos irreversíveis ao crescimento e desenvolvimento da planta (Wahid et al., 2007). No caso do trigo, tanto longas horas de exposição à temperatura moderadamente alta (22 a 28 °C) como breve exposição à temperatura muito alta (> 30 °C) afeta o desenvolvimento da cultura e ocasionam redução de produtividade (Stone e Nicolas, 1995). Grande parte dessa redução é decorrente de perdas verificadas nos componentes primários da produção (Yildirim e Bahar, 2010). A qualidade industrial também é negativamente afetada (Labuschagne et al., 2009) visto que o estresse de calor compromete a duração do acúmulo de proteínas e a deposição de amido.

Conhecer a magnitude dos danos causados pelo calor nas distintas fases do desenvolvimento da cultura, nas quais os componentes de produção são definidos, norteia os trabalhos de melhoramento, de modo que maiores ganhos podem ser obtidos agindo sobre os estádios que a cultura é mais sensível. Ao mesmo tempo, a identificação de genótipos com tolerância ao calor em fases distintas possibilita que esquemas de cruzamentos sejam adotados com o intuito de reunir os alelos favoráveis, que estão presentes em diferentes cultivares, e gerar linhagens com desempenho superior ao dos genitores.

Resposta diferenciada de genótipos ao calor, em diferentes estádios de desenvolvimento da planta de trigo, foi constatada por Lillemo et al. (2005) e Yildirim e Bahar (2010). Dentre os componentes de produção, Reynolds et al. (1994) afirmam que

o peso de grãos é o caráter de maior importância como indicador da tolerância ao calor. Por outro lado, Shpiler e Blum (1986) observaram que, sob estresse de calor, a variação obtida entre genótipos para a produtividade de grãos é decorrente de maior variação observada para número de espiguetas/espiga e número de grãos/espiguetas. Esses caracteres, juntamente com o comprimento da espiga, são apontados por Farooq et al. (2011a) como os principais a serem considerados pelo melhorista que atua na seleção de genótipos tolerantes ao calor.

Variação na importância relativa dos componentes de produção pode ser encontrada em função do genótipo e da intensidade, duração e época de ocorrência do estresse. De acordo com Cunha et al. (1996), em condições adversas de cultivo, diferentes genótipos utilizam diferentes estratégias para compor o rendimento final de grãos.

Neste contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da temperatura elevada sobre a produtividade de grãos de trigo e seus componentes e caracterizar cultivares de trigo quanto à tolerância ao calor em diferentes estádios de desenvolvimento.

### **Material e Métodos**

Para realização deste trabalho as cultivares MGS 1 Aliança, Anahuac 75, BRS 254, BRS 264, Embrapa 42, IAC 24-Tucuruí, IAC 364-Tucuruí III e UFVT 1 Pioneiro e a linhagem VI 98053 foram avaliadas em campo na presença e ausência de estresse de calor. A condição de estresse foi obtida através do cultivo durante o verão/outono, especificamente entre os meses de fevereiro e abril, onde predominam temperaturas elevadas durante todo o ciclo da cultura. O cultivo sem estresse foi conduzido durante a estação outono/inverno, entre os meses de maio e setembro. Este período é o recomendado para cultivo de trigo irrigado no estado de Minas Gerais (Comissão..., 2011) por apresentar temperaturas favoráveis ao desenvolvimento da cultura.

Como o estresse de calor foi a única variável que se buscou avaliar o efeito sobre a expressão dos genótipos, as práticas culturais adotadas foram mantidas constantes nas duas condições de cultivo para minimizar a influência de outros fatores bióticos e abióticos. Na adubação de plantio foram aplicados 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 08-28-16 no sulco de semeadura e 250 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio, em cobertura, no início do perfilhamento. Para controle de plantas invasoras foi feita aplicação do herbicida Ally (Metsulfuron Metílico) aos 15 dias após a semeadura, na dose de 5 g ha<sup>-1</sup> do produto

comercial. O experimento sem estresse foi conduzido sob irrigação plena, enquanto na condição com estresse foram feitas irrigações suplementares, sempre que necessário, já que o experimento foi conduzido em período de chuva. Os dados diários de temperatura máxima, média e mínima foram obtidos por estação meteorológica localizada na área experimental.

Em ambos os experimentos foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, com duas repetições na condição sem estresse e três repetições na condição com estresse. As parcelas foram constituídas por cinco linhas de 5 m de comprimento tendo como área útil as três linhas centrais, nas quais foram coletados dados referentes aos seguintes caracteres: i) número de espiguetas/espiga, obtido a partir do número médio de espiguetas presente em dez espigas tomadas ao acaso na área útil das parcelas; ii) número de grãos/espiga, obtido a partir do número médio de grãos contados em dez espigas colhidas aleatoriamente na área útil das parcelas; iii) número de grãos/espiguetas, obtido pela razão entre o número de grãos/espiga e número de espiguetas/espiga; iv) peso de mil grãos; v) produtividade de grãos, determinada após o beneficiamento e secagem dos grãos até 13% de umidade; vi) ciclo, determinado pelo número de dias compreendidos entre a emergência das plântulas e a maturação fisiológica dos grãos.

Os dados foram submetidos à análise de variância individual e conjunta e em seguida as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. As análises foram feitas com o programa Statistical Analysis System (SAS), versão 9.1 (SAS Institute, 2003).

A quantificação dos efeitos do estresse de calor ocorrido na condição desfavorável em relação à condição favorável foi obtida pela porcentagem de redução (%R) conforme expressão (Wardlaw et al., 1989):  $\%R = \left[ 1 - \frac{Y_C}{Y_S} \right] * 100$ , em que  $Y_C$  e  $Y_S$  são as médias de cada genótipo na condição com estresse e sem estresse, respectivamente, para cada uma das características avaliadas.

Para classificar as cultivares quanto ao grau de tolerância ao calor foi utilizado o índice proposto por Fischer e Mauer (1978):  $IFM = \frac{(1 - Y_C/Y_S)}{D}$ , em que  $Y_C$  e  $Y_S$  são as médias de cada genótipo na condição de estresse e sem estresse, respectivamente;  $D = 1 - \frac{X_C}{X_S}$ , equivale à intensidade do estresse, sendo  $X_C$  a média de todos os genótipos no ambiente com estresse e  $X_S$  a média de todos os genótipos no ambiente sem estresse. Genótipos com valores de  $IFM \leq 0,5$  apresentam alta tolerância ao calor; entre 0,5 e 1,0 têm moderada tolerância e  $IFM > 1,0$  são classificados como sensíveis ao calor (Fischer e Mauer, 1978).

## Resultados e Discussão

As temperaturas registradas durante o cultivo verão/outono (Tabela 1) caracterizaram a condição esperada de estresse de calor, pois apresentaram valores superiores aos observados para a condição sem estresse, independente do estágio de desenvolvimento da cultura. Assim, as diferenças observadas no desempenho dos genótipos entre as duas épocas de cultivo deve-se, principalmente, ao estresse de calor.

**Tabela 1.** Temperaturas (°C) médias, máximas e mínimas registradas nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas de trigo em cultivo sem e com estresse de calor. Viçosa-MG, 2012.

<b>Estádio de desenvolvimento</b>	<b>Média</b>	<b>Máxima</b>	<b>Mínima</b>
<b>Cultivo sem estresse</b>			
Emergência/Perfilhamento	16,0	23,2	11,7
Perfilhamento/Espigamento	15,4	23,4	10,4
Espigamento/Maturação	17,5	26,3	12,2
Todo ciclo	16,3	24,6	11,3
<b>Cultivo com estresse</b>			
Emergência/Perfilhamento	22,6	30,6	17,5
Perfilhamento/Espigamento	21,8	28,0	18,4
Espigamento/Maturação	20,4	27,3	16,6
Todo ciclo	21,4	28,1	17,5

Pela análise de variância individual para condição sem estresse foi detectado efeito significativo de genótipos para os caracteres número de espiguetas/espiga, número de grãos/espiga, número de grãos/espiguetas e ciclo. Na condição com estresse foi verificado efeito significativo para número de grãos/espiguetas, produtividade de grãos e ciclo (Tabela 2). Verificada a homogeneidade das variâncias residuais entre condições de cultivo pelo teste de F máximo, que considera as variâncias residuais homogêneas quando a relação entre os quadrados médios residuais não ultrapassa o valor 7, procedeu-se a análise de variância conjunta.

Pela análise de variância conjunta (Tabela 3) verificou-se efeito significativo para fonte de variação ambientes para todos os caracteres, evidenciando que o estresse de calor comprometeu a expressão das características. A produtividade de grãos reduziu de 2.841 kg ha<sup>-1</sup>, sob condições favoráveis, para 588 kg ha<sup>-1</sup> no ambiente com estresse, apresentando, portanto, redução média de 79%. Assim como constatado neste trabalho, redução de produtividade entre 60 e 95% é relatada na literatura (Albrecht et al., 2007;



Yildirim e Bahar, 2010). Segundo Taiz e Zeiger (2004) uma das principais razões do efeito deletério de temperaturas altas é a inibição da fotossíntese. Como consequência, as reservas de carboidratos diminuem e os órgãos perdem açúcares, ocasionando redução acentuada da produção.

**Tabela 2.** Resumo das análises de variância individual para os caracteres número de espiguetas/espiga (NEE), número de grãos/espiga (NGE), número de grãos/espiguetas (GPE), peso de mil grãos (PMG), produtividade de grãos (PROD) e ciclo (CLO) avaliados em cultivares de trigo cultivadas em ambiente sem e com estresse de calor. Viçosa-MG, 2012.

Característica	Ambiente	Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios	Média	CV (%)
NEE	Sem estresse	Genótipo	8	2,37*	19,17	3,74
		Resíduo	8	0,51		
	Com estresse	Genótipo	8	4,23 <sup>ns</sup>	15,07	10,15
		Resíduo	16	2,34		
NGE	Sem estresse	Genótipo	8	104,00**	54,17	5,81
		Resíduo	8	9,89		
	Com estresse	Genótipo	8	35,17 <sup>ns</sup>	32,89	12,42
		Resíduo	16	16,69		
GPE	Sem estresse	Genótipo	8	0,35**	2,85	4,53
		Resíduo	8	0,02		
	Com estresse	Genótipo	8	0,42**	2,21	9,30
		Resíduo	16	0,04		
PMG (g)	Sem estresse	Genótipo	8	5,75 <sup>ns</sup>	39,33	4,32
		Resíduo	8	2,89		
	Com estresse	Genótipo	8	8,58 <sup>ns</sup>	28,78	6,90
		Resíduo	16	3,94		
PROD (kg ha <sup>-1</sup> )	Sem estresse	Genótipo	8	380583,00 <sup>ns</sup>	2841,00	15,47
		Resíduo	8	193239,39		
	Com estresse	Genótipo	8	167026,42**	588,22	16,34
		Resíduo	16	9238,78		
CLO (dias)	Sem estresse	Genótipo	8	25,81**	98,05	0,91
		Resíduo	8	0,81		
	Com estresse	Genótipo	8	39,92**	72,15	3,60
		Resíduo	16	6,76		

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

<sup>ns</sup>: não significativo.

Ao analisar a média geral dos componentes de produção (Tabela 2) nota-se que também houve redução destes em função do estresse de calor. O número de grãos/espiga foi o mais afetado (39%), superando os percentuais de redução observados para o número de espiguetas/espiga (21%), número de grãos/espiguetas (23%) e peso de mil grãos (27%). Esse comportamento foi observado em oito das nove cultivares avaliadas (Tabela 4).

A redução do número de grãos/espiga pode ser atribuída ao efeito do calor sobre a diferenciação dos órgãos florais, esporogênese masculina e feminina, polinização e fertilização (Farooq et al., 2011b). A alta temperatura afeta a viabilidade do pólen

**Tabela 3.** Análise de variância conjunta para os caracteres número de espiguetas/espiga (NEE), número de grãos/espiga (NGE), número de grãos/espiguetas (GPE), peso de mil grãos (PMG), produtividade de grãos (PROD) e ciclo até a maturação (CLO) de cultivares de trigo. Viçosa-MG, 2012.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios					
		NEE	NGE	GPE	PMG	PROD	CLO
<b>Genótipo (G)</b>	8	5,63*	98,51**	0,63**	5,78 <sup>ns</sup>	319884,82**	52,83**
<b>Ambiente (A)</b>	1	180,89**	4889,63**	4,44**	1203,33**	54810083,33**	7248,89**
<b>G x A</b>	8	0,60 <sup>ns</sup>	54,41**	0,12**	7,98 <sup>ns</sup>	270435,92**	10,07 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	24	1,73	14,42	0,03	3,59	70572,31	4,77
<b>CV (%)</b>		7,88	9,17	7,45	5,74	17,84	2,65
<b>Média</b>		16,71	41,40	2,47	33,00	1489,33	82,51

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

<sup>ns</sup> : não significativo.

levando à redução do número de flores fecundadas (Rahman et al., 2009). Resultados semelhantes foram observados por Yildirim e Bahar (2010); o número de grãos/espiga reduziu de 33, em condição ideal de cultivo, para 13 em condição de estresse de calor. Nas mesmas condições, o peso dos grãos reduziu de 43 g para 14 g.

Redução no peso dos grãos entre 21 e 35% foi verificada em estudo realizado por Assad e Paulsen (2002). Em estudo posterior, Shah e Paulsen (2003) constataram que essa redução sob estresse é decorrente da diminuição da taxa fotossintética da folha bandeira e da senescência foliar precoce. Além dos malefícios causados à fotossíntese, a deposição de amido nos grãos é reduzida em função das enzimas envolvidas na biossíntese do amido serem sensíveis à temperatura elevada (Denyer et al., 1994).

Pela Tabela 3 verifica-se a existência de interação significativa entre genótipos e ambientes para os caracteres número de grãos/espiga, número de grãos/espiguetas e produtividade de grãos. Isto indica que as cultivares apresentaram respostas diferenciadas quando submetidas aos distintos ambientes, ou seja, expressa comportamento diferenciado de tolerância ao calor, conforme apresentado na Tabela 4.

Uma alternativa viável para identificação de genótipos tolerantes ao calor é a utilização de índices de tolerância, os quais quantificam a capacidade dos genótipos de manter seu potencial produtivo em condições de estresse. Esses índices, tais como a %R (Wardlaw et al., 1989) e IFM (Fischer e Mauer, 1978), são empregados no melhoramento de trigo para tolerância ao calor (Khanna-Chopra e Viswanathan, 1999; Rahman et al., 2009; Oliveira et al., 2011).

**Tabela 4.** Médias do número de espiguetas/espiga (NEE), número de grãos/espiga (NGE), número de grãos/espiguetas (GPE), peso de mil grãos (PMG), produtividade de grãos (PROD) e ciclo (CLO) e seus respectivos percentuais de redução (%R) para cultivares de trigo avaliadas em condições sem estresse e com estresse de calor. Viçosa-MG, 2012.<sup>(1)</sup>

Cultivar	NEE	NGE	GPE	PMG (g)	PROD (kg ha <sup>-1</sup> )	CLO (dias)
<b>Cultivo sem estresse</b>						
MGS 1 Aliança	19,5 ab	42,5 d	2,2 d	41,0 a	3320,0 a	94,0 c
Anahuac 75	21,0 a	60,5 ab	3,0 abc	39,0 a	1935,5 a	104,5 a
BRS 254	19,0 ab	61,0 a	3,2 ab	38,0 a	2948,0 a	97,0 bc
BRS 264	18,0 b	59,0 abc	3,2 a	41,0 a	3115,5 a	95,0 c
Embrapa 42	18,0 b	49,5 abcd	2,7 bcd	40,5 a	2530,0 a	94,5 c
IAC 24-Tucuruí	20,5 ab	48,0 bcd	2,4 d	36,5 a	2554,0 a	100,5 b
IAC 364-Tucuruí III	19,5 ab	47,5 cd	2,5 cd	41,0 a	3190,0 a	100,5 b
UFVT 1 Pioneiro	19,0 ab	61,0 a	3,2 ab	39,5 a	3133,5 a	96,0 c
VI 98053	18,0 b	58,5 abc	3,4 a	37,5 a	2842,0 a	100,5 b
<b>Média</b>	<b>19,2</b>	<b>54,2</b>	<b>2,9</b>	<b>39,3</b>	<b>2840,9</b>	<b>98,1</b>
<b>Cultivo com estresse</b>						
MGS 1 Aliança	15,7 a	32,7 a	2,1 bcd	28,0 a	503,3 bcd	72,0 ab
Anahuac 75	16,0 a	28,3 a	1,7 d	27,0 a	633,0 bc	76,7 a
BRS 254	14,7 a	36,3 a	2,4 abc	31,3 a	1122,0 a	67,3 b
BRS 264	13,3 a	37,3 a	2,8 a	28,0 a	520,0 bcd	69,0 b
Embrapa 42	15,0 a	27,7 a	1,9 cd	28,3 a	374,0 cd	68,0 b
IAC 24-Tucuruí	17,0 a	30,7 a	1,8 d	27,0 a	326,0 d	77,7 a
IAC 364-Tucuruí III	16,0 a	33,3 a	2,1 bcd	30,0 a	643,0 bc	71,3 ab
UFVT 1 Pioneiro	14,0 a	34,0 a	2,4 abc	28,0 a	466,0 bcd	73,7 ab
VI 98053	14,0 a	35,7 a	2,6 ab	31,3 a	706,7 b	73,7 ab
<b>Média</b>	<b>15,1</b>	<b>32,9</b>	<b>2,2</b>	<b>28,8</b>	<b>588,2</b>	<b>72,2</b>
<b>Percentagem de redução (%R)<sup>(2)</sup></b>						
MGS 1 Aliança	19 (4)	23 (1)	5 (1)	32 (9)	85 (6)	23 (3)
Anahuac 75	24 (7)	53 (9)	43 (9)	31 (7)	67 (2)	27 (4)
BRS 254	23 (6)	40 (6)	25 (5)	18 (2)	62 (1)	31 (9)
BRS 264	26 (8)	37 (4)	13 (2)	32 (8)	83 (5)	27 (6)
Embrapa 42	17 (2)	44 (7)	30 (8)	30 (6)	85 (7)	28 (7)
IAC 24-Tucuruí	17 (1)	36 (3)	25 (7)	26 (3)	87 (9)	23 (1)
IAC 364-Tucuruí III	18 (3)	30 (2)	16 (3)	27 (4)	80 (4)	29 (8)
UFVT 1 Pioneiro	26 (8)	44 (8)	25 (6)	29 (5)	85 (8)	23 (2)
VI 98053	22 (5)	39 (5)	24 (4)	17 (1)	75 (3)	27 (5)
<b>Média</b>	<b>21</b>	<b>39</b>	<b>23</b>	<b>27</b>	<b>79</b>	<b>26</b>

<sup>(1)</sup> Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(2)</sup> Valores entre parênteses referem-se à classificação dos percentuais de redução.

Pela percentagem de redução (Tabela 4) e IFM (Tabela 5) verifica-se que as cultivares MGS 1 Aliança, Embrapa 42, IAC 24-Tucuruí e IAC 364-Tucuruí III foram moderadamente tolerantes ao calor para o caráter número de espiguetas/espiga; MGS 1 Aliança, BRS 264, IAC 24-Tucuruí, IAC 364-Tucuruí III e VI 98053 para o número de grãos/espiga; BRS 254, IAC 24-Tucuruí, IAC 364-Tucuruí III e VI 98053 para o peso

de mil grãos; Anahuac 75, BRS 254 e VI 98053 para a produtividade de grãos; e MGS 1 Aliança, Anahuac 75, IAC 24-Tucuruí, UFVT 1 Pioneiro e VI 98053 para o ciclo. MGS 1 Aliança foi tolerante e BRS 264, IAC 364-Tucuruí III e VI 98053 moderadamente tolerantes para o número de grãos/espigueta.

Os componentes de produção avaliados são definidos em fases distintas do ciclo da cultura. O número de espiguetas/espiga é definido entre o estágio de duplo anel e espigueta terminal, normalmente entre o 30° e 45° dia após a germinação; o número de grãos/espiga é função do número de espiguetas formadas e do número de flores fecundadas, sendo este último definido entre a meiose e a antese; o peso de mil grãos é definido no período compreendido entre a antese e a maturação fisiológica dos grãos.

**Tabela 5.** Índices de tolerância ao calor (FISCHER e MAUER, 1978) para os caracteres número de espiguetas/espiga (NEE), número de grãos/espiga (NGE), número de grãos/espigueta (GPE), peso de mil grãos (PMG), produtividade de grãos (PROD) e ciclo até a maturação (CLO) de cultivares de trigo cultivadas em ambiente com e sem estresse de calor. Viçosa-MG, 2012.<sup>(1)</sup>

<b>Cultivar</b>	<b>NEE</b>	<b>NGE</b>	<b>GPE</b>	<b>PMG</b>	<b>PROD</b>	<b>CLO</b>
MGS 1 Aliança	0,91 (M)	0,57 (M)	0,18 (T)	1,18 (S)	1,07 (S)	0,89 (M)
Anahuac 75	1,12 (S)	1,37 (S)	1,86 (S)	1,15 (S)	0,85 (M)	1,00 (M)
BRS 254	1,06 (S)	1,04 (S)	1,07 (S)	0,65 (M)	0,78 (M)	1,17 (S)
BRS 264	1,22 (S)	0,95 (M)	0,60 (M)	1,18 (S)	1,05 (S)	1,04 (S)
Embrapa 42	0,78 (M)	1,11 (S)	1,28 (S)	1,12 (S)	1,07 (S)	1,06 (S)
IAC 24-Tucuruí	0,80 (M)	0,90 (M)	1,08 (S)	0,97 (M)	1,10 (S)	0,85 (M)
IAC 364-Tucuruí III	0,84 (M)	0,78 (M)	0,69 (M)	1,00 (M)	1,01 (S)	1,11 (S)
UFVT 1 Pioneiro	1,23 (S)	1,13 (S)	1,09 (S)	1,08 (S)	1,07 (S)	0,87 (M)
VI 98053	1,04 (S)	0,98 (M)	0,98 (M)	0,61 (M)	0,95 (M)	1,00 (M)

<sup>(1)</sup> S: sensível ao calor; M: moderadamente tolerante ao calor; T: tolerante ao calor.

Desse modo, deduz-se que as cultivares que se destacam para um determinado componente apresenta maior tolerância ao calor na fase em que este componente é definido. Portanto, MGS 1 Aliança, Embrapa 42, IAC 24-Tucuruí e IAC 364-Tucuruí III são mais tolerantes ao calor entre o estágio de duplo anel e espigueta terminal; MGS 1 Aliança, BRS 264, IAC 24-Tucuruí, IAC 364-Tucuruí III e VI 98053 entre a meiose e a antese; BRS 254, IAC 24-Tucuruí, IAC 364-Tucuruí III e VI 98053 entre a antese e a maturação fisiológica. Como na média geral o caráter mais afetado foi o número de grãos/espiga, o período compreendido entre o estágio de duplo anel e a antese é a fase que a cultura apresenta maior sensibilidade ao calor; para as condições de ambiente e genótipos utilizados neste estudo.

A duração do ciclo da cultura é função da soma térmica necessária ao desenvolvimento de cada cultivar. Em função de maiores temperaturas ocorridas durante a condição de estresse, o ciclo das cultivares foi reduzido. O encurtamento do ciclo fenológico é considerado por alguns autores como o principal efeito de altas temperaturas sobre o desenvolvimento do trigo. Resultados apresentados por Acevedo et al. (1991) evidenciam redução de 50% na duração da fase vegetativa quando a temperatura foi aumentada de 12,2 °C para 27,5 °C. Segundo McMaster (1997), essa redução da duração da emergência ao estágio de duplo anel, bem como do estágio de duplo anel até a antese reduz o número de espiguetas por espiga e o número de grãos por espiguetas.

Em condições de estresse de calor sobressaíram a linhagem VI 98053 e as cultivares IAC 24-Tucuruí, IAC 364-Tucuruí III por serem moderadamente tolerante ao calor para a maioria dos caracteres avaliados. A cultivar BRS 254 destacou-se por apresentar produtividade de grãos superior às demais, inclusive às cultivares com maior adaptação ao calor, MGS 1 Aliança e Anahuac 75 (Tabela 4). Ao avaliar um grupo de cultivares em 16 ambientes em Minas Gerais, Goiás e Distrito Federal, Albrecht et al. (2007) constataram superioridade da cultivar BRS 254 sob condições adversas, recomendando o seu cultivo em ambientes desfavoráveis.

Além de mais produtiva, a cultivar BRS 254 apresentou baixo percentual de redução para peso de mil grãos diante do maior percentual de redução para ciclo (Tabela 4). Em ensaios conduzidos durante o verão por Moraes et al. (2008) essa cultivar também se destacou para essa característica, obtendo valores semelhantes aos apresentados pelas cultivares desenvolvidas para condição de sequeiro.

Segundo Dias e Lindon (2009), a capacidade de aumentar a taxa de translocação de fotoassimilados para os grãos constitui um dos mecanismos que confere tolerância ao calor na cultura do trigo e é mais interessante do que a duração do enchimento de grãos. Assim a superioridade produtiva da cultivar BRS 254 pode ser em decorrência da alta taxa de translocação, que compensa o encurtamento do ciclo e mantém o enchimento dos grãos. Além de determinante para o rendimento final, a estabilidade no peso de grãos em ambiente de estresse de calor é importante na definição da qualidade dos grãos (Khanna-Chopra e Viswanathan, 1999).

A cultivar MGS 1 Aliança, referência para tolerância ao calor, não apresentou o desempenho produtivo esperado para condição de estresse. A produtividade de grãos foi baixa em função de sua susceptibilidade ao calor durante a fase de enchimento de grãos;

fato até então desconhecido e evidenciado pelo percentual de redução apresentado para o peso de mil grãos (Tabela 4). Apesar de ser cultivar de sequeiro, onde a semeadura em Minas Gerais é realizada durante o verão, o cultivo é limitado a regiões com altitude superior a 800 m, onde a temperatura predominante durante o enchimento de grãos é inferior à observada neste experimento. A sensibilidade dessa cultivar durante o enchimento de grãos é confirmada pela resposta positiva quando cultivada em ambiente sem estresse (Tabela 4).

Essa variação no comportamento dos genótipos, em função da intensidade do estresse de calor, ao qual a cultura é submetida, consiste numa das principais dificuldades encontradas no melhoramento genético para tolerância ao calor (Souza et al., 2012). A heterogeneidade de ambientes com temperatura elevada, associada aos distintos estádios da cultura em que o estresse ocorre é um dos fatores considerados no melhoramento do trigo para tolerância ao calor nos programas desenvolvidos pelo CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center - High Temperature Wheat Yield Trial) (Reynolds et al., 2001).

Com relação à cultivar Anahuac 75, esta apresentou os maiores percentuais de redução para os componentes de produção. Entretanto, conseguiu manter a produtividade de grãos estável, com redução superior apenas à cultivar BRS 254 (Tabela 4). Pelo IFM (Tabela 5) foi considerada como sensível ao calor para os componentes de produção e como moderadamente tolerante para a produtividade de grãos. Esta estabilidade de produção pode ser em função de maior capacidade de perfilhamento sob estresse, característica inerente desta cultivar. Apesar da estabilidade na produção, a média de produtividade foi baixa. Esse fato é justificado por ser cultivar recomendada para cultivo em 1981, portanto com menor potencial produtivo em relação às demais cultivares. No entanto seu potencial como fonte de genes para tolerância ao calor é reconhecido (Souza e Ramalho, 2001; Cargnin et al., 2006). Exemplo disso é o desempenho da cultivar BRS 254, obtida a partir do cruzamento ‘Embrapa 22\*3/Anahuac 75’.

Este estudo revela que essas cultivares são potencialmente úteis como fonte de genes para melhorar a tolerância ao calor nos programas de melhoramento de trigo e permite estabelecer cruzamentos que reúnam os alelos favoráveis que estão presente nas diferentes cultivares.

## Conclusões

1. O estresse de calor reduz a produtividade de grãos em trigo.
2. Dos caracteres avaliados, o número de grãos/espiga é o componente de produção que mais reduz sob condições de estresse de calor.
3. Há diferença de tolerância ao calor entre as cultivares nos distintos estádios de desenvolvimento da planta.
4. As cultivares MGS 1 Aliança, Embrapa 42, IAC 24-Tucuruí e IAC 364-Tucuruí III são mais tolerantes ao calor entre o estádio de duplo anel e espiguetas terminal; MGS 1 Aliança, BRS 264, IAC 24-Tucuruí, IAC 364-Tucuruí III e VI 98053 entre a meiose e a antese; BRS 254, IAC 24-Tucuruí, IAC 364-Tucuruí III e VI 98053 entre a antese e a maturação fisiológica.
5. As cultivares MGS 1 Aliança, BRS 254, IAC 24-Tucuruí, IAC 364-Tucuruí III e VI98053 apresentam maior grau de tolerância ao estresse de calor.

## Referências Bibliográficas

- ACEVEDO, E.; NACHIT, M.; FERRARA, G.O. Effects of heat stress on wheat and possible selection tools for use in breeding for tolerance. In: INTERNATIONAL CONFERENCE: WHEAT FOR THE NONTRADITIONAL WARM AREAS, 1990, Foz do Iguaçu, Brasil. **Proceedings**. Mexico: CIMMYT, 1991. p.401-421.
- ALBRECHT, J.C.; VIEIRA, E.A.; SILVA, M.S.; ANDRADE, J.M.V.; SCHEEREN, P.L.; TRINDADE, M.G.; SOBRINHO, J.S.; SOUSA, C.N.A.; REIS, W.P.; RIBEIRO JÚNIOR, W.Q.; FRONZA, V.; CARGNIN, A.; YAMANAKA, C.H. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de trigo irrigado no Cerrado do Brasil Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1727-1734, 2007.
- ASSAD, M.T.; PAULSEN, G.M. Genetic changes in resistance to environmental stresses by U.S. Great Plains wheat cultivars. **Euphytica**, v.128, p.87-96, 2002.
- CARGNIN, A.; SOUZA, M.A.; ROCHA, V.S.; MACHADO, J.C.; PICCINI, E. Tolerância ao estresse térmico em genótipos de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1269-1276, 2006.
- COMISSÃO BRASILEIRA DE TRIGO E TRITICALE. **Informações técnicas para trigo e triticale - safra 2012**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. 204p.
- CUNHA, G.R.; VENTIMIGLIA, L.M.; HAAS, J.C.; GARCIA, R.; MACMANEY, M. Composição do rendimento de grãos em genótipos de trigo argentino. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.2, p.155-162, 1996.
- DENYER, K.; HYLTON, C.M.; SMITH, A.M. The effect of high temperature on starch synthesis and the activity of starch synthase. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.21, p.783-789, 1994

- DIAS, A.S.; LIDON, F.C. Evaluation of grain filling rate and duration in bread and durum wheat, under heat stress after anthesis. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.95, p.137-147, 2009.
- FAROOQ, J.; KHALIQ, I.; ALI, M.A.; KASHIF, M.; REHMAN, A.; NAVEED, M.; ALI, Q.; NAZEER, W.; FAROOQ, A. Inheritance pattern of yield attributes in spring wheat at grain filling stage under different temperature regimes. **Australian Journal of Crop Science**, v.5, p.1745-1753, 2011a.
- FAROOQ, M.; BRAMLEY, H.; PALTA, J.A.; SIDDIQUE, K.H.M. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.30, p.1-17, 2011b.
- FISCHER, R.A.; MAUER, R. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.29, p.897-912, 1978.
- 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**, v.106, p.169-180, 1999.
- LABUSCHAGNE, M.T.; ELAGO, O.; KOEN, E. The influence of temperature extremes on some quality and starch characteristics in bread, biscuit and durum wheat. **Journal of Cereal Science**, v.49, p.184-189, 2009.
- LILLEMO, M.; GINKEL, M.V.; TRETOWAN, R.M.; HERNANDEZ, E.; CROSSA, J. Differential Adaptation of CIMMYT Bread Wheat to Global High Temperature Environments. **Crop Science**, v.45, p.2443-2453, 2005.
- MCMMASTER, G.S. Phenology, development, and growth of the wheat (*Triticum aestivum* L.) shoot apex: a review. **Advances in Agronomy**, v.59, p.63-118, 1997.
- MOHAMMADI, V.; ZALI, A.A.; BIHAMTA, M.R. Mapping QTLs for heat tolerance in wheat. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.10, p.261-267, 2008.
- MORAES, A.F.; BONFA, A.P.; QUADROS, W.R.J.; RAMOS, M.L.G.; ALBRECHT, J.C.; AMÁBILE, R.F. Viabilidade do trigo cultivado no verão do Brasil Central. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO, 9.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SAVANAS TROPICAIS, 2., 2008, Brasília. **Anais**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 1 CD-ROM.
- OLIVEIRA, D.M.; SOUZA, M.A.; ROCHA, V.S.; ASSIS, J.C. Desempenho de genitores e populações segregantes de trigo sob estresse de calor. **Bragantia**, v.70, p.25-32, 2011.
- ORTIZ, R.; SAYRE, K.D.; GOVAERTS, B.; GUPTA, R.; SUBBARAO, G.V.; BAN, T.; HODSON, D.; DIXON, J.M.; ORTIZ-MONASTERIO, J.I.; REYNOLDS, M. Climate change: Can wheat beat the heat?. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.126, p.46-58, 2008.
- RAHMAN, M.A.; CHIKUSHI, J.; YOSHIDA, S.; KARIM, A.J.M.S. Growth and yield components of wheat genotypes exposed to high temperature stress under control environment. **Bangladesh Journal of Agricultural Research**, v.34, p.361-372, 2009.



- 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**, v.21, p.717-730, 1994.
- REYNOLDS, M.P.; NAGARAJAN, S.; RAZZAQUE, M.A.; AGEEB, O.A.A. Heat tolerance. In: REYNOLDS, M.; ORTIZ-MONASTERIO, J.I.; MCNAB, A. (eds.). **Application of Physiology in Wheat Breeding**. México: CIMMYT, 2001. p.124-135.
- SAS INSTITUTE. **Statistical Analysis System**. Versão 9.1. Cary: Statistical Analysis System Institute, 2003.
- 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.
- SHPILER, L.; BLUM, A. Differential reaction of wheat cultivars to hot environments. **Euphytica**, v.35, p.483-492, 1986.
- SOUZA, M.A.; RAMALHO, M.A.P. Controle genético e tolerância ao estresse de calor em populações híbridas e em cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1245-1253, 2001.
- SOUZA, M.A.; PIMENTEL, A.J.B.; RIBEIRO, G. Breeding for heat-stress tolerance. In: FRITSHE-NETO, R.; BORÉM, A. (eds.). **Plant breeding for abiotic stress tolerance**. Berlin: Springer, 2012. p.137-156.
- STONE, P.J.; NICOLAS, M.E. Comparison of sudden stress with gradual exposure to high temperature during filling in two varieties differing in heat tolerance. I. Grain growth. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.22, p.935-944, 1995.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.
- WAHID, A.; GELANI, S.; ASHRAF, M.; FOOLAD, M.R. Heat tolerance in plants: An overview. **Environmental and Experimental Botany**, v.61, p.199-223, 2007.
- 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**, v.40, p.15-24, 1989.
- YILDIRIM, M.; BAHAR, B. Responses of some wheat genotypes and their F<sub>2</sub> progenies to salinity and heat stress. **Scientific Research and Essays**, v.5, p.1734-1741, 2010.

## CAPÍTULO II

**Análise dialélica parcial em gerações avançadas para seleção de populações  
segregantes de trigo**

**Partial diallel analysis in advanced generations to select wheat segregating  
populations**

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2014

## Resumo

PIMENTEL, Adérico Júnior Badaró, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2014. **Análise dialélica parcial em gerações avançadas para seleção de populações segregantes de trigo.** Orientador: Moacil Alves de Souza. Coorientadores: Pedro Crescêncio Souza Carneiro e José Eustáquio de Souza Carneiro.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o uso da análise de dialelo parcial na estimativa dos efeitos de capacidade geral e específica de combinação de genitores de trigo e seus cruzamentos nas gerações  $F_2$  e  $F_3$ , em anos diferentes, bem como selecionar populações segregantes superiores. Foram avaliados, quanto à produtividade de grãos, 12 genitores e suas 36 populações, obtidas em esquema de dialelo parcial. Utilizou-se o delineamento em látice  $7 \times 7$ , com duas repetições, mais um tratamento para completar o látice. A análise dialélica para cada geração foi realizada segundo o modelo de Geraldi e Miranda Filho (1988) para dialelo parcial, adaptado do método de Griffing (1956). O efeito de capacidade geral de combinação foi estatisticamente significativo nas duas gerações. Constatou-se alto valor (0,83) da correlação dos efeitos de capacidade geral de combinação entre gerações e inexpressiva influência dos efeitos de geração e de anos na classificação das populações. As populações provenientes do cruzamento entre os genitores BRS 264, IAC 364-Tucuruí III e BRS 254 com o MGS 1 Aliança, UFVT 1 Pioneiro e VI 98053 apresentaram maior potencial para obtenção de linhagens com alto potencial produtivo de grãos. A utilização da análise dialélica parcial em gerações avançadas é estratégia promissora para seleção de genitores e populações no melhoramento de trigo.

**Termos para indexação:** *Triticum aestivum*, capacidade de combinação, melhoramento de plantas, predição do potencial genético.

## Abstract

PIMENTEL, Adérico Júnior Badaró, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2014. **Partial diallel analysis in advanced generations to select wheat segregating populations.** Adviser: Moacil Alves de Souza. Co-advisers: Pedro Crescêncio Souza Carneiro and José Eustáquio de Souza Carneiro.

The objective this work was to evaluate the use of partial diallel analysis to estimate the effects of general combining ability and specific combining ability of wheat parental lines and their crosses in F<sub>2</sub> and F<sub>3</sub> generations, in different years, as well as to select superior segregating populations. Twelve parental lines and their 36 populations, obtained through a partial diallel scheme, were evaluated for grain productivity. The experimental design was a 7 x 7 simple lattices with two replications, plus a treatment to complete the lattice. The diallel analysis for each generation was performed according to the model Geraldi and Miranda Filho (1988) for partial diallel, adapted from the method of Griffing (1956). The effect of general combining ability was statistically significant in two generations. High value (0.83) of the correlation of the general combining ability effects between generations was observed and inexpressive influence of the generation and year effects on the classification of populations. The populations derived from the crossings among the parental lines BRS 264, IAC 364-Tucuruí III and BRS 254, and MGS 1 Aliança, UFVT 1 Pioneiro and VI 98053 showed the greatest potential for obtaining lines with high grain yield potential. The use of the partial diallel analysis in advanced generations is promising strategy for selection of parents and segregating populations in wheat breeding.

**Index terms:** *Triticum aestivum*, combining ability, crop breeding, prediction of the genetic potential.

## Introdução

No Brasil o consumo de trigo é de aproximadamente 55 kg por habitante por ano, o que corresponde a um consumo interno anual em torno de 10,5 milhões de toneladas (CONAB, 2012). Porém a produção nacional de trigo não supre a demanda interna, assim, é necessária a importação de cerca de 50% do trigo consumido.

No contexto atual, é premente a realização de pesquisas e incentivos à triticultura brasileira. Nos últimos 30 anos, pelo menos 50% do aumento de produtividade das principais espécies autógamas cultivadas no Brasil é atribuído ao melhoramento genético (Ramalho e Araújo, 2011).

O sucesso dos programas de melhoramento está relacionado ao potencial das populações segregantes geradas (Kurek et al., 2001), que é determinado pela capacidade de combinação entre os genitores utilizados. Logo, a identificação de cruzamentos superiores constitui etapa crucial no processo de melhoramento (Kotzamanidis et al., 2008).

Nesse contexto, os cruzamentos dialélicos constituem estratégia metodológica promissora a ser empregada nos programas de melhoramento (Bertan et al., 2007). Pela análise dialélica é possível realizar a seleção da melhor combinação de pais, baseada no comportamento das progênies oriundas dos cruzamentos, e determinar a ação gênica que controla o caráter (Cruz et al., 2012), o que auxilia na escolha do método de condução das populações e no critério de seleção a ser adotado.

Antes limitada ao melhoramento de espécies alógamas, a análise dialélica vem sendo utilizada em espécies autógamas como arroz (Torres e Geraldi, 2007; Pereira et al., 2008), feijão (Vidigal et al., 2008; Trindade et al., 2011), aveia (Ribeiro et al., 2011) e trigo (Benin et al., 2009; Valério et al., 2009). Apesar do uso da capacidade de combinação como critério de seleção de cruzamentos em trigo, há pouca informação sobre o uso a consistência de suas estimativas obtidas em gerações com diferentes níveis de endogamia.

Para a cultura do trigo, a utilização da análise dialélica é limitada pela pequena quantidade de semente disponível na geração  $F_1$ , em razão da dificuldade na realização dos cruzamentos e do número limitado de sementes híbridas obtidas por polinização. Uma alternativa é a avaliação do dialelo em gerações avançadas. De acordo com Bhullar et al. (1979) as gerações  $F_2$  e  $F_3$  podem ser utilizadas com eficiência para estudar a capacidade de combinação em trigo, pois resultam em melhores predições do

que as obtidas com a geração  $F_1$ . Javaid et al. (2001) também destacam a eficiência da geração  $F_2$  na avaliação da capacidade de combinação em trigo.

Estudos da capacidade de combinação conduzidos nas gerações  $F_2$  ou  $F_3$  também oferecem a oportunidade de testar o material em diferentes ambientes, o que possibilita obter informações sobre a existência de interação genótipos x ambientes (Bhullar et al., 1979; Masood e Kronstad, 2000). A importância dessa análise é evidenciada nos trabalhos de Souza e Ramalho (2001) e Gowda et al. (2012), os quais verificaram que o valor e significância do componente de variância da capacidade geral e específica de combinação são dependentes do local de avaliação. Unidades experimentais mais representativas e maior número de repetições podem ser utilizados nos delineamentos experimentais com gerações avançadas, pois, nestas, a disponibilidade de sementes é maior.

Como em gerações avançadas o desvio de dominância é reduzido, há possibilidade do efeito da capacidade específica de combinação ser não significativo. Isso inviabilizaria a utilização de um dialelo completo, pois a informação sobre a complementaridade gênica entre os genitores seria perdida. Nessas condições, o uso do dialelo parcial poderia ser mais adequado. Este dialelo consiste no cruzamento entre dois grupos de genitores complementares para características de interesse, desta forma não existe interesse no cruzamento entre indivíduos do mesmo grupo. Segundo Viana (2007), nos dialelos parciais a magnitude da capacidade geral de combinação, além de indicar a frequência de alelos favoráveis, é indicativa da diversidade genética entre o genitor de um grupo e aqueles genitores do grupo oposto.

Assim, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o uso da análise de dialelo parcial na estimativa dos efeitos de capacidade geral e específica de combinação de genitores de trigo e seus cruzamentos nas gerações  $F_2$  e  $F_3$ , bem como selecionar populações segregantes superiores.

### **Material e Métodos**

Os experimentos foram conduzidos na Estação Experimental Prof. Diogo Alves de Mello, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG, localizada nas coordenadas 20°45'14"S e 42°52'55"O com altitude de 648 m.

Para a obtenção das sementes  $F_1$ , 12 linhagens elites foram cruzadas em esquema de dialelo parcial. Os genitores foram estratificados em dois grupos (Tabela 1). O grupo I foi constituído por seis linhagens classificadas como Trigo Melhorador, com

relação à qualidade de farinha, exceto o cultivar BRS 264; o grupo II foi constituído por linhagens tolerantes ao calor (Anahuac 75 e MGS 1 Aliança), de alta estabilidade de produção (VI98053 e UFVT 1 Pioneiro) e alto potencial produtivo e boa estatura (BRS 207 e IVI01041).

As sementes F<sub>1</sub> foram multiplicadas em casa de vegetação em 2007 e no ano seguinte foram avaliados os 12 genitores e as 36 populações F<sub>2</sub>. Utilizou-se o delineamento em látice 7x7, com duas repetições, mais um tratamento para completar o látice. As parcelas foram constituídas por duas linhas de 1,0 m de comprimento espaçadas em 0,20 m, com densidade de 300 sementes aptas por m<sup>2</sup>.

**Tabela 1.** Relação dos genitores de trigo, com seus respectivos cruzamentos e instituição de origem, cruzados em esquema de dialelo parcial para obtenção das populações segregantes.

Genitores	Cruzamento	Origem
<b>Grupo I</b>		
Embrapa 22	Veery“S”/3/Klein Toledo“S”/PAT19//Moncho/ Jupateco 73	EMBRAPA
Embrapa 42	LAP689/MS7936	EMBRAPA
BRS 254	Embrapa 22*3/Anahuac 75	EMBRAPA
BRS 264	Buckbuck/Chiroca//Tui	EMBRAPA
IAC 24-Tucuruí	IAS51/4/SON64/YAQUI50E//GB/3/2*CIANO	IAC
IAC 364-Tucuruí III	IAS58/IAS55//IALS“S”/3/IAC5/4/ALD“S”//IA S58/8.1034.A//ALD/5/CNR/6/BUC/7/IAC24	IAC
<b>Grupo II</b>		
Anahuac 75	II12300//Lerma Rojo 64/8156/3/Norteno 67	CIMMYT
MGS 1 Aliança	PF858/OCEPAR11	EPAMIG/UFV
BRS 207	Seri 82/PF813	EMBRAPA
VI 98053	Embrapa 22/BR12	UFV
UFVT 1 Pioneiro	Veery 5/NACÓZARI	UFV
IVI 01041	TRAP#1/YACO/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ	UFV

Em 2009, foram avaliados os 12 genitores e as 36 populações F<sub>3</sub>, em que as sementes utilizadas foram obtidas por amostragem da geração anterior colhida em “bulk”. Foi utilizado o mesmo delineamento experimental, o espaçamento e a densidade de semeadura empregados na geração anterior. A parcela foi constituída por cinco linhas de 5,0 m de comprimento, considerando como área útil as três linhas centrais.

A semeadura foi realizada na segunda quinzena de maio para os dois experimentos. Utilizou-se como adubação de base 250 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 08-28-16 no sulco de semeadura e 250 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio, em cobertura, no início do perfilhamento. Para controle de plantas invasoras foi feita aplicação do herbicida Ally (Metsulfuron Metílico) aos 15 dias após a semeadura, na dose de 5 g ha<sup>-1</sup> do produto comercial. O cultivo foi conduzido sob irrigação por aspersão convencional.

Foi avaliada a produtividade de grãos, utilizando a produção da área útil de cada parcela, transformada para kg ha<sup>-1</sup>. A pesagem foi realizada após o beneficiamento e secagem dos grãos até 13% de umidade. Os dados foram submetidos à análise de variância segundo o modelo em látice. Em função da eficiência do látice ter sido baixa (Federer, 1955; Silva et al., 2000) optou-se pela análise de blocos completos casualizados.

A análise dialélica para cada geração foi realizada segundo o modelo de Geraldi e Miranda Filho (1988) para dialelo parcial, adaptado do método de Griffing (1956):

$$Y_{ij} = \mu + \frac{1}{2}(d_1 + d_2) + g_i + g'_j + s_{ij} + e_{ij},$$

em que:  $Y_{ij}$  é a média do cruzamento que inclui o  $i$ -ésimo genitor do grupo I e o  $j$ -ésimo genitor do grupo II;  $\mu$  é a média geral do dialelo;  $d_1$  e  $d_2$  são os contrastes que inclui as médias dos grupos I e II e a média geral;  $g_i$  é o efeito da capacidade geral de combinação do  $i$ -ésimo genitor do grupo I;  $g'_j$  é o efeito da capacidade geral de combinação do  $j$ -ésimo genitor do grupo II;  $s_{ij}$  é o efeito da capacidade específica de combinação;  $e_{ij}$  é o erro experimental médio.

O desvio padrão das estimativas de capacidade geral de combinação ( $\hat{g}_i$  e  $\hat{g}_j$ ) e específica de combinação ( $\hat{s}_{ij}$ ) foi obtido pela raiz quadrada das variâncias, conforme apresentado por Cruz et al. (2012). As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa Genes - Aplicativo computacional em genética e estatística (Cruz, 2013).

## Resultados e Discussão

A eficiência do delineamento em látice em relação ao de blocos casualizados foi verificada apenas na geração  $F_2$  e apresentou valor baixo (11%). Portanto, optou-se pelas análises segundo o modelo de blocos casualizados. Os coeficientes de variação foram 17% no experimento com a geração  $F_2$  e 13% com a geração  $F_3$ , os quais segundo Lúcio et al. (1999) são classificados como médios e rotineiramente observados em



ensaios de campo com trigo, o que asseguram as inferências realizadas a partir dos dados.

Pela análise dialélica foi detectado efeito significativo para a fonte de variação tratamentos, em ambas as gerações (Tabela 2). A soma de quadrados de tratamentos foi desdobrada em soma de quadrados de grupos (GI vs GII), soma de quadrados da capacidade geral de combinação do grupo I (CGC I) e do grupo II (CGC II) e soma de quadrados da capacidade específica de combinação (CEC).

**Tabela 2.** Resumo das análises dialélicas parciais para produtividade de grãos nas gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>, segundo o modelo de Geraldi e Miranda Filho (1988) adaptado do método de Griffing (1956). Viçosa-MG, 2008 e 2009.

Fonte de Variação <sup>(1)</sup>	Grau de Liberdade	Quadrados Médios	
		F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>
Tratamentos	47	1655583,3537**	330912,4378**
Grupos (GI vs GII)	1	21122,6667 <sup>ns</sup>	3151,5000 <sup>ns</sup>
CGC I	5	1720971,7933*	659213,3295**
CGC II	5	9408694,6733**	1152367,1617**
CEC	36	615082,2951 <sup>ns</sup>	180328,6283 <sup>ns</sup>
Resíduo	47	594663,4965	110024,8296

<sup>(1)</sup>CGC I, capacidade geral de combinação do grupo I; CGC II, capacidade geral de combinação do grupo II; CEC, capacidade específica de combinação.

\*\* e \*, significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. <sup>ns</sup>, não significativo.

Para a fonte de variação grupos não foi verificado efeito significativo, o que é uma evidencia de que o número médio de alelos favoráveis dos dois grupos de genitores é similar (Tabela 2). Esse fato deve-se à presença de cultivares e de linhagens elites de alto potencial de produção em ambos os grupos.

Os quadrados médios referentes à CGC dos grupos I e II foram significativos nas duas gerações, o que demonstra a existência de número diferenciado de alelos favoráveis entre os genitores dentro de cada grupo (Tabela 2). No entanto, em nenhuma das gerações foi verificado efeito significativo da CEC, o que indica ausência de variabilidade para essa fonte de variação.

A não significância dos efeitos da CEC pode ser explicada com base na expressão utilizada para sua obtenção. O efeito da CEC ( $\hat{s}_{ij}$ ) do i-ésimo com o j-ésimo genitor, considerando um loco, é dado por  $S_{ij} = 2[(\bar{p} - p_i)(t_j - \bar{t})]d$ , em que  $\bar{p}$  é a frequência média de alelos do grupo I;  $p_i$  é a frequência do alelo favorável no i-ésimo

pai do grupo I;  $t_j$  é a frequência do alelo favorável no j-ésimo pai do grupo II;  $\bar{t}$  é a frequência média de alelos do grupo II; e  $d$  é o efeito dos locos em heterozigose. Portanto, a CEC é função dos desvios de dominância e da diversidade genética entre os genitores (Vencovsky, 1978). Como os pais são divergentes para o caráter em questão (Pimentel et al., 2013), a não significância dos efeitos da CEC observados neste trabalho (Tabela 3) podem ser resultado da reduzida contribuição dos efeitos de dominância para expressão do caráter nas gerações analisadas, nas quais a heterose é reduzida a  $\frac{1}{2}$  ( $F_2$ ) e  $\frac{1}{4}$  ( $F_3$ ) do seu valor inicial. A explicação com base na ausência de dominância para o caráter é pouco provável, uma vez que há heterose para produção de grãos em trigo (Farooq e Khaliq, 2004; Bertan et al., 2009).

Os resultados obtidos nas duas gerações ( $F_2$  e  $F_3$ ) foram análogos. Além da ausência de efeitos significativos da CEC, observou-se estimativa do coeficiente de correlação de Spearman de 0,83 ( $P < 0,01$ ) entre os efeitos de CGC estimados na geração  $F_2$  e  $F_3$  apresentados na Tabela 4. Esses resultados são indicativos de inexpressiva influência dos efeitos de gerações e de anos nas estimativas dos parâmetros genéticos e evidencia que a seleção com base na geração  $F_2$  ou  $F_3$  conduz a resultados semelhantes. Assim, a análise dialélica parcial em gerações avançadas, em especial  $F_3$ , cuja disponibilidade de sementes é maior, é estratégia promissora na escolha de potenciais genitores de trigo para a obtenção de populações segregantes superiores.

Resultados semelhantes foram obtidos por Masood e Kronstad (2000). Esses autores constataram que a capacidade geral de combinação foi amplamente consistente ao longo das gerações para o caráter produção de grãos e seus componentes em trigo. Por outro lado, as estimativas de CEC mostraram-se pouco consistentes e de baixa repetibilidade ao longo das gerações. Segundo Bornhofen et al. (2013), selecionar cruzamentos de trigo que apresentem genitores com capacidade geral de combinação superior, maximiza o rendimento de grãos por planta, número de grãos por espiga e estatura de planta, independente da geração avaliada. De acordo com Bhullar et al. (1979) o material deverá ser estudado na geração  $F_1$  quando o objetivo for estudar o desempenho de híbridos de trigo. Já para prever o desempenho de populações em  $F_5$ , as gerações  $F_2$  ou  $F_3$  são as que propiciam estimativas mais confiáveis (Bhullar et al., 1979).

A análise dialélica parcial em gerações avançadas é justificada em razão da possibilidade de ocorrer viés nas estimativas de CGC quando se utiliza a geração  $F_1$ . No dialelo parcial a CGC é função dos desvios de dominância, conforme evidenciado pela

**Tabela 3.** Efeito da capacidade específica de combinação ( $\hat{s}_{ij}$ ) quanto à produtividade de grãos, obtidos na avaliação de genitores e populações segregantes de trigo nas gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>. Viçosa-MG, 2008 e 2009.

Cruzamento	Geração F <sub>2</sub>	Geração F <sub>3</sub>
Embrapa 22 x Anahuac 75	100,15	586,02
Embrapa 22 x MGS 1 Aliança	68,45	-265,41
Embrapa 22 x BRS 207	-224,24	-529,56
Embrapa 22 x VI 98053	-47,74	-78,21
Embrapa 22 x IVI 01041	514,15	264,69
Embrapa 22 x UFVT 1 Pioneiro	631,25	323,29
Embrapa 42 x Anahuac 75	-838,34	158,10
Embrapa 42 x MGS 1 Aliança	256,96	308,33
Embrapa 42 x BRS 207	-252,74	-56,66
Embrapa 42 x VI 98053	-386,24	-389,48
Embrapa 42 x IVI 01041	36,65	-459,91
Embrapa 42 x UFVT 1 Pioneiro	493,75	-206,14
BRS 254 x Anahuac 75	-598,14	-179,33
BRS 254 x MGS 1 Aliança	148,16	-292,93
BRS 254 x BRS 207	-373,54	245,26
BRS 254 x VI 98053	-5,04	349,94
BRS 254 x IVI 01041	820,85	-180,82
BRS 254 x UFVT 1 Pioneiro	-581,04	-227,56
BRS 264 x Anahuac 75	610,25	17,13
BRS 264 x MGS 1 Aliança	225,55	-53,81
BRS 264 x BRS 207	-245,14	-12,45
BRS 264 x VI 98053	662,35	536,40
BRS 264 x IVI 01041	-837,74	-356,54
BRS 264 x UFVT 1 Pioneiro	-609,64	-19,61
IAC 24 - Tucuruí x Anahuac 75	786,95	-94,48
IAC 24 - Tucuruí x MGS 1 Aliança	455,25	267,59
IAC 24 - Tucuruí x BRS 207	1.010,55	79,94
IAC 24 - Tucuruí x VI 98053	-367,94	-92,71
IAC 24 - Tucuruí x IVI 01041	-216,04	-131,98
IAC 24 - Tucuruí x UFVT 1 Pioneiro	-683,94	-169,88
IAC 364 - Tucuruí III x Anahuac 75	-439,64	66,29
IAC 364 - Tucuruí III x MGS 1 Aliança	-516,34	-103,97
IAC 364 - Tucuruí III x BRS 207	629,95	105,20
IAC 364 - Tucuruí III x VI 98053	-248,54	-202,93
IAC 364 - Tucuruí III x IVI 01041	-544,64	-372,37
IAC 364 - Tucuruí III x UFVT 1 Pioneiro	-307,54	150,56
Desvio padrão ( $\hat{s}_{ij}$ )	491,51	211,42

**Tabela 4.** Efeito da capacidade geral de combinação dos genitores dos grupos I ( $\hat{g}_i$ ) e II ( $\hat{g}_j$ ) para produtividade de grãos, obtidos na avaliação de genitores e populações segregantes de trigo nas gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>. Viçosa-MG, 2008 e 2009.

Grupo	Genitores	Geração F <sub>2</sub>	Geração F <sub>3</sub>
I	Embrapa 22	-7,62	-97,57
	Embrapa 42	-282,12	-244,80
	BRS 254	106,68	54,28
	BRS 264	447,28	237,16
	IAC 24 - Tucuruí	-360,42	-106,57
	IAC 364 - Tucuruí III	96,18	157,50
II	Anahuac 75	-410,47	-230,72
	MGS 1 Aliança	903,22	288,05
	BRS 207	-852,07	-314,64
	VI 98053	682,42	115,01
	IVI 01041	-410,48	-50,39
	UFVT 1 Pioneiro	87,42	192,68
Desvio padrão ( $\hat{g}_i$ e $\hat{g}_j$ )		157,41	67,71

expressão apresentada por Vencovsky (1978):  $CGC_i = (p_i - \bar{p})[a + (1 - 2\bar{t})d]$ , em que d é o efeito dos locos em heterozigose. Assim, a existência de desvios de dominância expressivos pode causar viés nas estimativas da CGC e induzir a erros na seleção de genitores e cruzamentos superiores.

Apesar deste trabalho não apresentar dados referentes à avaliação da geração F<sub>1</sub>, inúmeros trabalhos relatam a existência de efeito de dominância em trigo nessa geração. Zeeshan et al. (2013) constataram por meio de análise dialélica que a contribuição dos efeitos gênicos não-aditivos na geração F<sub>1</sub> foi superior aos efeitos aditivos para produção de grãos e seus componentes. Resultados semelhantes foram obtidos por Souza e Ramalho (2001) em análise dialélica parcial com a geração F<sub>1</sub>; na geração F<sub>2</sub> a participação dos efeitos não-aditivos continuou importante no controle do caráter produção de grãos, superando a CGC dos genitores de um dos grupos do dialelo. Efeitos gênicos aditivos e não-aditivos no controle da expressão da produção de grãos em trigo também foi verificado na geração F<sub>1</sub> por Kamaluddin et al. (2007) e nas gerações F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub> por Joshi et al. (2004). Essas evidências justificam a utilização do dialelo parcial em gerações avançadas, conforme proposto neste trabalho, visto que os desvios de dominância diminuem com o avanço das gerações.

Cabe ressaltar que a escolha dos potenciais genitores na análise dialélica parcial, em gerações avançadas, deve-se basear apenas nas estimativas de CGC, pois, neste caso, a magnitude da CGC, além de indicar a frequência de alelos favoráveis, é indicativa da diversidade genética entre os genitores de um grupo e aqueles do grupo oposto.

Com base nas estimativas de CGC, obtidas na geração F<sub>3</sub>, as populações oriundas dos cruzamentos das cultivares BRS 264, IAC 364-Tucuruí III e BRS 254, pertencentes ao grupo I, com as cultivares MGS 1 Aliança, UFVT 1 Pioneiro e VI 98053, pertencentes ao grupo II, apresentaram maior potencial para obtenção de linhagens superiores, pois além de conterem maior número de alelos favoráveis são as mais divergentes (Tabela 4).

### Conclusões

1. A utilização da análise dialélica parcial em gerações avançadas é estratégia promissora para seleção de genitores e populações no melhoramento de trigo.

2. As estimativas de capacidade de combinação entre genitores para produtividade de grãos, obtida por análise dialélica parcial, são análogas nas gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>.

3. Os efeitos gênicos aditivos são os responsáveis pela expressão do caráter produtividade de grãos avaliado nas gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>.

4. As populações provenientes dos cruzamentos entre os genitores BRS 264, IAC 364-Tucuruí III e BRS 254 com o MGS 1 Aliança, UFVT 1 Pioneiro e VI 98053 apresentam maior potencial para obtenção de linhagens superiores para o caráter produtividade de grãos.

### Referências Bibliográficas

BENIN, G.; SILVA, G.O.; PAGLIOSA, E.S.; LEMES, C.; SIGNORINI, A.A.; BECHE, E.; CAPELIN, M.A. Capacidade de combinação em genótipos de trigo estimada por meio de análise multivariada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1145-1151, 2009.

BERTAN, I.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C. Parental selection strategies in plant breeding programs. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v.10, p.211-222, 2007.

BERTAN, I.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; SILVA, J.A.G.; BENIN, G.; HARTWIG, I.; SCHMIDT, D.A.M.; VALÉRIO, I.P.; FONSECA, D.R.; SILVEIRA, G. Efeitos da heterose e endogamia em caracteres de importância agrônômica em trigo. **Revista Ceres**, v.56, p.753-763, 2009.

- BHULLAR, G.S.; GILL, K.S.; KHEHRA, A.S. Combining ability analysis over F<sub>1</sub>-F<sub>5</sub> generations in diallel crosses of bread wheat. **Theoretical and Applied Genetics**, v.55, p.77-80, 1979.
- BORNHOFEN, E.; BENIN, G.; MATEI, G.; SILVA, C.L.; BECHE, E.; PAGLIOSA, E.S.; HAGEMANN, T.R.; PINNOW, C. Capacidade de combinação entre genitores de trigo em duas gerações. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, p.3129-3140, 2013.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Indicadores da agropecuária**. Brasília: CONAB, 2012. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 12 jun. 2012.
- CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, p.271-276, 2013.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Editora UFV, 2012. 514p.
- FAROOQ, J.; KHALIQ, I. Estimation of heterosis and heterobeltiosis of some quantitative characters in bread wheat crosses. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.3, p.508-511, 2004.
- FEDERER, W.T. **Experimental designs**. New York: The MacMillan, 1955. 544 p.
- GERALDI, I.O.; MIRANDA-FILHO, J.B. Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses. **Brazilian Journal of Genetics**, v.11, p.419-430, 1988.
- GOWDA, M.; LONGIN, C.F.H.; LEIN, V.; REIF, J.C. Relevance of specific versus general combining ability in winter wheat. **Crop Science**, v.52, p.2494-2500, 2012.
- GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, v.9, p.463-493, 1956.
- JAVOID, A.; MASOOD, S.; MINHAS, N.M. Analysis of combining ability in wheat (*Triticum aestivum* L.) using F<sub>2</sub> generation. **Pakistan Journal Biological Sciences**, v.4, p.1303-1305, 2001.
- JOSHI, S.K.; SHARMA, S.N.; SINGHANIA, D.L.; SAIN, R.S. Combining ability in the F<sub>1</sub> and F<sub>2</sub> generations of diallel cross in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell). **Hereditas**, v.141, p.115-121, 2004.
- KAMALUDDIN, R.M.; SINGH, L.C.P.; MALIK, Z.; JOSHI, A.K. Combining ability analysis for grain filling duration and yield traits in spring wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell.). **Genetics and Molecular Biology**, v.30, p.411-416, 2007.
- KOTZAMANIDIS, S.T.; LITHOURGIDIS, A.S.; MAVROMATIS, A.G.; CHASIOTI, D.I.; ROUPAKIAS, D.G. Prediction criteria of promising F<sub>3</sub> populations in durum wheat: A comparative study. **Field Crops Research**, v.107, p.257-264, 2008.
- KUREK, A.J.; CARVALHO, F.I.F.; ASSMANN, I.C.; CRUZ, P.J. Capacidade combinatória como critério de eficiência na seleção de genitores em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.645-651, 2001.

- LÚCIO, A.D.; STORCK, L.; BANZATTO, D.A. Classificação dos experimentos de competição de cultivares quanto a sua precisão. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.5, p.99-103, 1999.
- MASOOD, M.S.; KRONSTAD, W.E. Combining ability analysis over various generations in a diallel cross of bread wheat. **Pakistan Journal of Agricultural Research**, v.16, p.1-4, 2000.
- PEREIRA, J.A.; MORAIS, O.P.; BRESEGHELLO, F. Análise da heterose de cruzamentos entre variedades de arroz-vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1135-1142, 2008.
- PIMENTEL, A.J.B.; RIBEIRO, G.; SOUZA, M.A.; MOURA, L.M.; ASSIS, J.C.; MACHADO, J.C. Comparação de métodos de seleção de genitores e populações segregantes aplicados ao melhoramento de trigo. **Bragantia**, v.72, p.113-121, 2013.
- RAMALHO, M.A.P.; ARAÚJO, L.C.A. Breeding self-pollinated plants. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, S1, p.1-7, 2011.
- RIBEIRO, G.; SILVEIRA, G.; CRESTANI, M.; NORNBORG, R.; LUCHE, S.H.; MEZZALIRA, I.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C. Diallel analysis in white oat cultivars subjected to water stress. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.11, p.125-132, 2011.
- SILVA, H.D.; FERREIRA, D.F.; PACHECO, C.A.P. Avaliação de quatro alternativas de análise de experimentos em látice quadrado, quanto à estimação de componentes de variância. **Bragantia**, v.59, p.117-123, 2000.
- SOUZA, M.A.; RAMALHO, M.A.P. Controle genético e tolerância ao estresse de calor em populações híbridas e em cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1245-1253, 2001.
- TORRES, E.A.; GERALDI, I.O. Partial diallel analysis of agronomic characters in rice (*Oryza sativa* L.). **Genetics and Molecular Biology**, v.30, p.605-613, 2007.
- TRINDADE, R.S.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; RODRIGUES, R.; VIANA, J.M.S.; PEREIRA, M.G.; GONÇALVES, L.S.A. Combining ability for morphoagronomic traits in common bean and snap bean. **African Journal of Agricultural Research**, v.29, p.6240-6245, 2011.
- VALÉRIO, I.P.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; SOUZA, V.Q.; BENIN, G.; SCHMIDT, D.A.M.; RIBEIRO, G.; NORNBORG, R.; LUCH, H. Combining ability of wheat genotypes in two models of diallel analysis. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.9, p.100-107, 2009.
- VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E. (Ed.). **Melhoramento e produção do milho no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1978. p.122-195.
- VIANA, J.M.S. Heterosis and combining ability analyses from the partial diallel. **Bragantia**, v.66, p.641-647, 2007.

VIDIGAL, M.C.G.; SILVÉRIO, L.; ELIAS, H.T.; VIDIGAL FILHO, O.S.; KVITSCHAL, M.V.; RETUCI, V.S.; SILVA, C.R. Combining ability and heterosis in common bean cultivars. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1143-1150, 2008.

ZEESHAN, M.; ARSHAD, W.; ALI, S.; TARIQ, M.; HUSSAIN, M.; SIDDIQUE, M. Estimation of combining ability effects for some yield related metric traits in intra-specific crosses among different spring wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. **International Journal of Advanced Research**, v.1, p.6-10, 2013.



## CAPÍTULO III

**Estimação de parâmetros genéticos e predição de valor genético aditivo em trigo  
utilizando metodologia de modelos mistos (REML/BLUP)**

**Estimation of genetic parameters and prediction of additive genetic value in wheat  
using mixed model methodology (REML/BLUP)**

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2014

## Resumo

PIMENTEL, Adérico Júnior Badaró, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2014. **Estimação de parâmetros genéticos e predição de valor genético aditivo em trigo utilizando metodologia de modelos mistos (REML/BLUP)**. Orientador: Moacil Alves de Souza. Coorientadores: Pedro Crescêncio Souza Carneiro e José Eustáquio de Souza Carneiro.

A aplicação da metodologia de modelos mistos é tendência recente no melhoramento genético de plantas por fornecer parâmetros adicionais que auxiliam na identificação de genótipos superiores. Objetivou-se com este trabalho estimar parâmetros genéticos e prever o valor genético de populações e indivíduos oriundos de 36 populações segregantes de trigo na geração F<sub>3</sub>, utilizando a metodologia REML/BLUP. As populações, juntamente com quatro testemunhas, foram avaliadas em delineamento de blocos ao acaso com informação de indivíduo dentro de parcela. Os caracteres avaliados foram produção de grãos, índice de colheita, número de perfilhos e altura de planta. Verificou-se a existência de variabilidade genética entre populações para todos os caracteres avaliados. A herdabilidade, ao nível de média, variou de 39,15 a 92,78% e acurácias na seleção de populações entre 62,57 e 96,32%. A herdabilidade individual no sentido restrito e a acurácia na seleção individual apresentaram valores de baixa magnitude. Para os caracteres altura de planta e índice de colheita a herdabilidade individual contribuiu para maior ganho com o BLUP individual em relação ao BLUP de populações. As populações Embrapa22/BRS207, Embrapa22/VI98053, Embrapa22/IVI01041, BRS254/BRS207, BRS254/VI98053, BRS254/UFVT1Pioneiro e BRS264/BRS207 se destacaram por apresentar valor genético aditivo elevado para dois ou mais caracteres.

**Termos para indexação:** *Triticum aestivum*, população segregante, herdabilidade, estratégias de melhoramento.

## Abstract

PIMENTEL, Adérico Júnior Badaró, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa February, 2014. **Estimation of genetic parameters and prediction of additive genetic value in wheat using mixed model methodology (REML/BLUP)**. Adviser: Moacil Alves de Souza. Co-advisers: Pedro Crescêncio Souza Carneiro and José Eustáquio de Souza Carneiro.

The application of mixed models methodology is a recent trend in plant breeding by providing additional parameters that help identify superior genotypes. The objective of this study was to (i) estimate genetic parameters and (ii) predict genotypic value of populations and individuals of 36 wheat segregating populations in F<sub>3</sub> generation by the methodology REML/BLUP. The 36 populations and four checks were evaluated in randomized complete block design with individual information within the plot. The traits evaluated were grain yield, harvest index, number of tillers and plant height. There was genetic variability between populations for all traits evaluated. The heritability at population level varied from 39.15 to 92.78%, and accuracy in the selection of populations varied from 62.57 to 96.32%. Narrow sense heritability at individual level and accuracy at individual selection showed low values. For plant height and harvest index, heritability at individual level contributes to greater gain in the individual BLUP in relation to the populations BLUP. The Embrapa22/BRS207, Embrapa22/VI98053, Embrapa22/IVI01041, BRS254/BRS207, BRS254/VI98053, BRS254/UFVT1Pioneiro and BRS264/BRS207 segregating populations stood out with high additive genetic value for two or more traits measured.

**Index terms:** *Triticum aestivum*, segregating populations, heritability, breeding strategies.

## Introdução

O melhoramento genético da cultura do trigo no Brasil tem desempenhado importante papel no progresso desta espécie, disponibilizando aos agricultores cultivares com alto potencial produtivo e boa aceitação pelo mercado consumidor. No Sul do Brasil, Nedel (1994) observou incremento de  $17,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  no rendimento de grãos de cultivares de trigo lançadas para cultivo no período de 1940 a 1992. Em Minas Gerais, o ganho genético médio na produtividade de grãos entre os anos de 1976 e 2005 foi de  $48 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para trigo irrigado (Cargnin et al., 2008) e de  $37 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para trigo sequeiro (Cargnin et al., 2009).

Esses trabalhos evidenciam que os esforços empreendidos na busca de cultivares produtivas têm produzido resultados expressivos pelos programas de melhoramento de trigo na avaliação, seleção e recomendação de novas cultivares. Como ressaltado por Ramalho e Araújo (2011), o sucesso do melhoramento não deve ser medido apenas pelo aumento de produtividade, mas também pela disponibilidade de cultivares adaptadas a novas condições de cultivo, mais tolerantes a estresses bióticos e abióticos. A adaptação do trigo a condições edafoclimáticas distintas constitui um dos fatores que propiciaram o desenvolvimento da triticultura desde a sua introdução no Brasil.

Superar os níveis atuais de produtividade apresentados pelas cultivares em uso não é tarefa fácil para os melhoristas, principalmente quando se trata de caráter quantitativo. Metodologias que pressupõem seleção fenotípica dificilmente romperão os atuais níveis de produtividade. A busca de metodologias mais eficientes de melhoramento constitui a alternativa de efeito mais rápido, sobretudo para a produção de grãos, para qual a variabilidade genética ainda está longe de ser exaurida.

Numerosos estudos têm centrado na melhoria da eficiência do melhoramento. A aplicação de procedimentos genético-estatísticos mais refinados, como a metodologia de modelos mistos, constitui uma tendência no melhoramento genético de plantas, por fornecer parâmetros adicionais importantes na identificação de materiais genéticos superiores (Maia et al., 2011; Ramalho e Araújo, 2011).

O problema central do melhoramento genético compreende a estimação de componentes de variância (parâmetros genéticos) e a predição dos valores genéticos. Esta predição necessita de componentes de variância conhecidos ou estimados com precisão. Nesse sentido, o procedimento ótimo de predição de valores genéticos é o BLUP (melhor predição linear não viesada) utilizando componentes de variância estimados via REML (máxima verossimilhança residual) (Resende, 2004).

O uso de modelos mistos do tipo REML/BLUP é fundamental para a predição de valores genéticos aditivos e genotípicos, tanto em nível intrapopulacional como interpopulacional (Resende, 2000). Mesmo sob condições de desbalanceamento, essa abordagem permite a predição acurada e não viesada dos valores genéticos e propicia informações específicas sobre o mérito da progênie, de indivíduos nas progênies e até mesmo considerando o ambiente da repetição onde está localizado um indivíduo (Resende, 2007a).

Em síntese, especificamente no caso dos modelos mistos com efeitos aleatórios de tratamentos, as propriedades do BLUP para os tratamentos são: maximização da acurácia seletiva, minimização do erro de predição, predição não viciada de valores genéticos, maximização do ganho genético por ciclo de seleção, maximização da probabilidade de selecionar o melhor entre dois genótipos; maximização da probabilidade de selecionar o melhor entre vários genótipos (Resende, 2004).

Na literatura, os estudos que utilizam modelos lineares mistos em plantas anuais são raros, sendo mais comuns para plantas perenes. Todavia, Ramalho e Araújo (2011) apontam a utilização de modelos mistos como estratégia para melhorar a eficiência do melhoramento de plantas autógamas pela identificação de progênies/linhas com maior mérito genotípico.

Em trabalho realizado por Ramalho et al. (2013) o ganho genético na seleção de progênies de feijão-comum foi maximizado quando associou o método genealógico com o uso de modelos mistos. Para essa mesma cultura, Mendes et al. (2011) utilizou predições realizadas via BLUP para identificar progênies e indivíduos superiores dentro de populações segregantes. Recomendação do uso do procedimento REML/BLUP também é feita por Chiorato et al. (2008) para orientação de programas de melhoramento de feijão e por Coimbra et al. (2005) para o melhoramento de aveia, cujos experimentos, em geral, geram dados não balanceados na avaliação de plantas.

Em algumas espécies autógamas tem sido realizadas avaliações de plantas individuais em populações  $F_3$  (Federizzi et al., 1999). Tal geração é adequada para seleção, pois 75% ( $1,5\sigma_a^2$ ) da variação aditiva total ( $2\sigma_a^2$ ) que estará disponível em  $F_\infty$  já se encontra disponível em  $F_3$ . O BLUP para seleção neste caso pode ser derivado considerando o delineamento de blocos ao acaso com várias plantas por parcela.

Para cultura do trigo é escasso o uso da metodologia REML/BLUP na rotina dos programas de melhoramento, bem como a estimação de componentes de variância e efeitos genéticos aditivos (Oakey et al., 2006) com base em plantas individuais. Com

base no exposto, o objetivo deste trabalho foi estimar parâmetros genéticos e prever os valores genéticos de progênies e indivíduos de trigo oriundos de 36 populações segregantes em F<sub>3</sub>, utilizando a metodologia REML/BLUP.

### **Material e Métodos**

O experimento foi conduzido no Campo Experimental Prof. Diogo Alves de Mello, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG (lat. 20°45'14" S; long. 42°52'55" O; alt. 648 m), entre os meses de maio e setembro de 2009.

O material experimental utilizado nesse estudo constituiu de 36 populações segregantes, na geração F<sub>3</sub>, juntamente com as cultivares MGS 1 Aliança, Embrapa 22, UFVT 1 Pioneiro e BRS 264, utilizadas como testemunhas para estimar os efeitos de ambiente (Tabela 1).

Os tratamentos (populações e testemunhas) foram dispostos em blocos casualizados com informação de indivíduo dentro da parcela, com três repetições para cada tratamento. A parcela experimental foi composta por duas linhas de 5,0 m de comprimento, espaçadas em 0,20 m e densidade de 10 sementes por metro de sulco.

Em cada planta foram coletados dados fenotípicos referentes aos seguintes caracteres: i) altura de planta, medindo-se do coleto até o ápice da espiga, excluindo-se as aristas; ii) índice de colheita, obtido pela razão entre a massa seca de grãos e a massa seca da parte aérea da planta; iii) produção de grãos, determinada após beneficiamento e correção da umidade para 13%; iv) número de perfilhos por planta. Devido a falhas no estande, o número de plantas avaliadas variou entre tratamentos e caracteres, conforme especificado na Tabela 1.

A adubação foi realizada de acordo com a análise de solo; 250 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 08-28-16 foi aplicado no sulco de semeadura e 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, em cobertura, no início do perfilhamento. Os demais tratamentos culturais seguiram as recomendações técnicas para cultivo de trigo irrigado (Comissão..., 2008).

De posse dos dados fenotípicos, o programa SELEGEN-REML/BLUP (Resende, 2007b) foi utilizado para estimação dos parâmetros e predição dos valores genéticos aditivos. O procedimento adotado no programa para a predição dos valores genéticos foi o BLUP, utilizando estimativas de variâncias obtidas pelo método REML, conforme apresentado por Resende (2007a).

**Tabela 1.** Relação de populações segregantes com seus respectivos cruzamentos e número de plantas avaliadas para os caracteres produção de grãos (PG), índice de colheita (IC), número de perfilhos (NP) e altura de planta (AP). Viçosa-MG, 2009.

Número da População	Cruzamento	Número de plantas avaliadas			
		PG	IC	NP	AP
1	Embrapa22/Anahuac 75	225	225	233	233
2	Embrapa22/MGS 1 Aliança	232	232	237	237
3	Embrapa22/BRS207	214	214	216	216
4	Embrapa22/VI98053	243	243	243	243
5	Embrapa22/IVI01041	232	232	233	233
6	Embrapa22/UFVT 1 Pioneiro	258	258	259	259
7	Embrapa42/Anahuac 75	240	240	247	247
8	Embrapa42/MGS 1 Aliança	247	247	255	255
9	Embrapa42/BRS207	223	223	225	225
10	Embrapa42/VI98053	220	220	224	224
11	Embrapa42/IVI01041	219	219	232	232
12	Embrapa42/ UFVT 1 Pioneiro	241	241	246	246
13	BRS254/Anahuac 75	225	225	226	226
14	BRS254/ MGS 1 Aliança	253	253	253	253
15	BRS254/BRS207	228	228	228	228
16	BRS254/VI98053	241	241	243	243
17	BRS254/IVI01041	215	215	216	216
18	BRS254/ UFVT 1 Pioneiro	241	241	244	244
19	BRS264/Anahuac 75	236	236	239	239
20	BRS264/ MGS 1 Aliança	260	260	263	263
21	BRS264/BRS207	223	223	226	226
22	BRS264/VI98053	250	250	252	252
23	BRS264/IVI01041	209	209	212	212
24	BRS264/ UFVT 1 Pioneiro	237	237	240	240
25	IAC24-Tucuruí/Anahuac 75	229	229	233	233
26	IAC24-Tucuruí/ MGS 1 Aliança	258	258	260	260
27	IAC24-Tucuruí/BRS207	221	221	224	224
28	IAC24-Tucuruí/VI98053	240	240	244	244
29	IAC24-Tucuruí/IVI01041	206	206	219	219
30	IAC24-Tucuruí/ UFVT 1 Pioneiro	239	239	240	240
31	IAC364-Tucuruí III/Anahuac 75	217	217	219	219
32	IAC364-Tucuruí III / MGS 1 Aliança	232	232	236	236
33	IAC364-Tucuruí III /BRS207	223	223	224	224
34	IAC364-Tucuruí III /VI98053	250	250	251	251
35	IAC364-Tucuruí III /IVI01041	202	202	213	213
36	IAC364-Tucuruí III / UFVT 1 Pioneiro	231	231	241	241
Testemunha	Embrapa 22	246	246	248	248
Testemunha	BRS 264	220	220	222	222
Testemunha	MGS 1 Aliança	252	252	252	252
Testemunha	UFVT 1 Pioneiro	213	213	212	212
<b>Total</b>		<b>9291</b>	<b>9291</b>	<b>9430</b>	<b>9430</b>

Para fins de estimação e predição de parâmetros genéticos foram consideradas as informações individuais dentro das parcelas. Por estarem na geração F<sub>3</sub>, considerou-se para os cálculos das variâncias genéticas que 66,6% da variabilidade se encontra entre

populações e 33,3% dentro de populações, ou seja, 1 entre populações e 1/2 dentro de populações.

O modelo genético-estatístico utilizado para estimação dos componentes de variância e predição dos valores genotípicos foi o seguinte:

$$y = Xr + Za + Wp + Tb + e$$

em que:  $y$  é o vetor de dados;  $r$  é o vetor dos efeitos de tipos de material genético, testemunhas e progênes, considerados como de efeitos fixos somados à média geral;  $a$  é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios);  $p$  é o vetor dos efeitos de parcela (assumidos como aleatórios);  $b$  é vetor dos efeitos de blocos (aleatórios);  $e$  é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios).  $X, Z, W, T$  são matrizes de incidência para os efeitos  $r, a, p$  e  $b$ , respectivamente.

Distribuição e estrutura de médias e variâncias:

$$y|r, V \sim N(Xr, V)$$

$$a|\sigma_a^2 \sim N(0, I\sigma_a^2)$$

$$p|\sigma_p^2 \sim N(0, I\sigma_p^2)$$

$$b|\sigma_b^2 \sim N(0, I\sigma_b^2)$$

$$e|\sigma_e^2 \sim N(0, I\sigma_e^2)$$

$$Cov = (a, p') = 0; Cov = (a, b') = 0; Cov = (a, e') = 0;$$

$$Cov = (p, b') = 0; Cov = (p, e') = 0; Cov = (b, e') = 0;$$

Ou seja:

$$E \begin{bmatrix} y \\ a \\ p \\ b \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xr \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad e \quad Var \begin{bmatrix} y \\ a \\ p \\ b \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V & ZG & WP & TB & R \\ GZ' & G & 0 & 0 & 0 \\ PW' & 0 & P & 0 & 0 \\ BT' & 0 & 0 & B & 0 \\ R & 0 & 0 & 0 & R \end{bmatrix}$$

em que:

$$G = I\sigma_a^2$$

$$R = I\sigma_e^2$$

$$P = I\sigma_p^2$$

$$B = I\sigma_b^2$$

$$V = ZI\sigma_a^2Z' + WI\sigma_p^2W' + TI\sigma_b^2T' + I\sigma_e^2$$



As equações de modelo misto para a predição BLUP dos valores genéticos individuais equivalem a:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W & X'T \\ Z'X & Z'Z + I\lambda_1 & Z'W & Z'T \\ W'X & W'Z & W'W + I\lambda_2 & W'T \\ T'X & T'Z & T'W & T'T + I\lambda_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{r} \\ \tilde{a} \\ \tilde{p} \\ \tilde{b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \\ T'y \end{bmatrix} \text{ em que:}$$

$$\lambda_1 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_a^2} = \frac{1 - h^2 - C_p^2 - C_b^2}{h^2}; \quad \lambda_2 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_p^2} = \frac{1 - h^2 - C_p^2 - C_b^2}{C_p^2}; \quad \lambda_3 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_b^2} = \frac{1 - h^2 - C_p^2 - C_b^2}{C_b^2}$$

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_p^2 + \sigma_b^2 + \sigma_e^2} : \text{herdabilidade individual no sentido restrito.}$$

$$C_p^2 = \frac{\sigma_p^2}{\sigma_a^2 + \sigma_p^2 + \sigma_b^2 + \sigma_e^2} : \text{correlação devido ao ambiente comum da parcela.}$$

$$C_b^2 = \frac{\sigma_b^2}{\sigma_a^2 + \sigma_p^2 + \sigma_b^2 + \sigma_e^2} : \text{correlação devido ao ambiente comum do bloco dentro de}$$

repetição.

Estimadores iterativos dos componentes de variância por REML via algoritmo

EM:

$$\sigma_e^2 = [y'y - \hat{r}' X'y - \tilde{a}' Z'y - \tilde{p}' W'y - \tilde{b}' T'y] / [N - r(x)]$$

$$\sigma_a^2 = [\tilde{a}' \tilde{a} + \sigma_e^2 \text{tr } C^{22}] / q$$

$$\sigma_p^2 = [\tilde{p}' \tilde{p} + \sigma_e^2 \text{tr } C^{33}] / s$$

$$\sigma_b^2 = [\tilde{b}' \tilde{b} + \sigma_e^2 \text{tr } C^{44}] / \eta$$

sendo que  $C^{22}$ ,  $C^{33}$ ,  $C^{44}$  advêm de:

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} & C^{13} & C^{14} \\ C^{21} & C^{22} & C^{23} & C^{24} \\ C^{31} & C^{32} & C^{33} & C^{34} \\ C^{41} & C^{42} & C^{43} & C^{44} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} & C^{13} & C^{14} \\ C^{21} & C^{22} & C^{23} & C^{24} \\ C^{31} & C^{32} & C^{33} & C^{34} \\ C^{41} & C^{42} & C^{43} & C^{44} \end{bmatrix}$$

$C$ : matriz dos coeficientes das equações de modelo misto.

$\text{tr}$ : operador traço matricial.

$r(x)$ : posto da matriz  $X$ .

$N$ ,  $q$ ,  $s$ : número total de dados, de indivíduos e de parcelas, respectivamente.

Utilizando o índice multi-efeitos derivado por Resende e Higa (1994), tem-se que o índice ótimo ou BLUP, neste caso, é dado por:

$$\begin{aligned} I_m &= b_1 \delta_{ijk} + b_2 g_i + b_3 c_{ij} \\ &= b_1 (Y_{ijk} - \bar{Y}_{ij.}) + b_2 (\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...}) + b_3 (\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y}_{...}) \end{aligned}$$

em que:

$$b_1 = \frac{(1/2)\sigma_a^2}{\hat{\sigma}_\delta^2} : \text{herdabilidade do efeito de indivíduo dentro de parcela.}$$

$$b_2 = \frac{(2nb+1)}{2nb} \sigma_a^2 : \text{herdabilidade do efeito de populações.}$$
$$\frac{\sigma_f^2 + \sigma_p^2 / b + \sigma_\delta^2 / nb}$$

$$b_3 = \frac{[(1/2)/n]\sigma_a^2}{\sigma_c^2 + \sigma_\delta^2 / n}, \text{herdabilidade do efeito de parcela.}$$

Os componentes de variância  $\sigma_f^2$ ,  $\sigma_p^2$  e  $\sigma_\delta^2$  são: variância entre populações, entre parcelas e dentro de parcelas, respectivamente. As quantidades n e b referem-se aos números de indivíduos por parcela e número de blocos, respectivamente.

A estimação de  $\sigma_a^2$  usando dados apenas da geração F<sub>3</sub> implica assumir 0,25  $\sigma_a^2$  tendendo a zero na variação entre e dentro de progênies. Entretanto, mesmo sem esta suposição, a presença desta pequena fração da variância de dominância ( $\sigma_a^2$ ) não deverá afetar o *ranking* pelo BLUP, visto que as duas herdabilidade são usadas no computo dos valores genéticos dos mesmos. Estando as duas inflacionadas pela mesma quantidade, a proporcionalidade entre elas não será afetada (Resende, 2007b).

## Resultados e Discussão

Na metodologia de modelos mistos com dados desbalanceados os efeitos do modelo não devem ser testados via teste F, tal como se faz no método da análise de variância (Resende, 2007a). Nesse caso, para os efeitos aleatórios, o teste cientificamente recomendado, a fim de verificar a significância dos efeitos do modelo, é o teste da razão de verossimilhança (LRT) por meio de uma análise de *deviance*. Esta análise, sugerida por Resende (2007a), representa uma generalização, para os casos balanceado e desbalanceado, da clássica análise de variância, e indica a qualidade do ajuste do modelo. A *deviance* é uma estatística derivada da razão entre as verossimilhanças do modelo completo em relação ao modelo sem o efeito que se deseja testar.

Conforme apresentado na Tabela 2, o efeito de genótipos (tratamentos) para as variáveis produção de grãos, índice de colheita, número de perfilhos e altura de planta foi significativo pelo teste da razão de verossimilhança. Consequentemente, os respectivos componentes de variância aditiva e coeficientes de herdabilidade são significativamente diferentes de zero, o que evidencia a existência de variabilidade

genética para esses caracteres. Estes fatos revelam a possibilidade de seleção entre populações para todos os caracteres.

Os resultados referentes às estimativas dos parâmetros genéticos para os quatro caracteres avaliados são apresentados na Tabela 3. Com exceção do caráter produtividade de grãos, os demais caracteres apresentaram herdabilidade de médias de população de magnitude moderada a alta, variando de 67,78 a 92,78%. Esses valores de herdabilidade conduziram a acurácias elevadas na seleção de populações, variando de 82,36 a 96,32%, as quais de acordo com Resende e Duarte (2007) são consideradas de magnitude alta a muito alta (Tabela 3). Para produção de grãos a herdabilidade de médias de população foi inferior a 40%.

**Tabela 2.** Análise de *deviance* para quatro variáveis avaliadas em populações segregantes de trigo. Viçosa-MG, 2009.

Variável	Efeito	<i>Deviance</i>	LRT	Componente de variância	Coefficiente de herdabilidade
Produção de grãos	Genótipo <sup>+</sup>	31957,19 <sup>+</sup>	3,47*	$\sigma_a^2 = 0,2075^*$	$h_p^2 = 0,39^*$
	Modelo completo	31953,72			
Índice de colheita	Genótipo <sup>+</sup>	-43864,46 <sup>+</sup>	38,59**	$\sigma_a^2 = 0,0007^{**}$	$h_p^2 = 0,79^{**}$
	Modelo completo	-43903,05			
Número de perfilhos	Genótipo <sup>+</sup>	22432,46 <sup>+</sup>	19,14**	$\sigma_a^2 = 0,1143^{**}$	$h_p^2 = 0,68^{**}$
	Modelo completo	22413,32			
Altura de planta	Genótipo <sup>+</sup>	58838,95 <sup>+</sup>	119,85**	$\sigma_a^2 = 37,9764^{**}$	$h_p^2 = 0,93^{**}$
	Modelo completo	58719,10			

<sup>+</sup>: *Deviance* do modelo ajustado sem o efeito correspondente a genótipo.

\* e \*\*: Significativo pelo teste qui-quadrado a 10% (2,71) e 1% (6,63), respectivamente. <sup>ns</sup>: não significativo.

$\sigma_a^2$ : variância genética aditiva entre populações F<sub>3</sub> e  $h_p^2$  = herdabilidade no sentido restrito ao nível de média de populações.

**Tabela 3:** Componentes de variância e parâmetros genéticos estimados para os caracteres produção de grãos (g/planta), índice de colheita, número de perfilhos e altura de planta (cm) em populações segregantes de trigo. Viçosa-MG, 2009.

<b>Parâmetro</b>	<b>Produção de grãos</b>	<b>Índice de colheita</b>	<b>Número de perfilhos</b>	<b>Altura de planta</b>
Variância genética aditiva entre populações F <sub>3</sub>	0,2075	0,0007	0,1143	37,9764
Variância ambiental entre parcelas	0,7772	0,0004	0,0992	3,1215
Variância entre blocos	0,5075	0,0007	0,0008	0,2848
Variância fenotípica dentro da parcela	11,1710	0,0031	3,8872	182,7484
Variância fenotípica total	126,631	0,0049	4,1015	224,1312
Variância aditiva dentro de populações	0,1038	0,0004	0,0572	18,9882
Herdabilidade individual no sentido restrito - Massal (%)	1,64	13,55	2,79	16,94
Herdabilidade individual no sentido restrito dentro de populações (%)	0,00	11,29	1,47	10,39
Herdabilidade em nível de medias (%)	39,15	79,41	67,78	92,78
Acurácia na seleção individual - massal (%)	12,81	36,54	16,70	41,16
Acurácia na seleção de populações (%)	62,57	89,11	82,33	96,32
Acurácia na seleção combinada entre e dentro - BLUP (%)	62,57	92,22	82,78	98,98
Eficiência com seleção pelo BLUP entre e dentro de populações	1,00	1,03	1,01	1,03
Coefficiente de determinação dos efeitos de parcela (%)	6,14	8,29	2,42	1,39
Coefficiente de variação genético aditiva individual (%)	7,45	8,10	6,50	6,26
Coefficiente de variação experimental (%)	15,47	6,58	7,18	2,28
Coefficiente de variação relativa (CV <sub>gi</sub> /CV <sub>e</sub> )	0,48	1,23	0,90	2,75
Média Geral	6,1121	0,3177	5,2033	98,4856
Média das Populações F <sub>3</sub>	5,7205	0,3005	4,9931	99,4448

A acurácia seletiva reflete a quantidade e a qualidade das informações e dos procedimentos utilizados na predição dos valores genéticos. Essa medida está associada à precisão na seleção e refere-se à correlação entre valores genéticos preditos e valores genéticos verdadeiros dos indivíduos. Quanto maior a acurácia na avaliação de um indivíduo, maior é a confiança na avaliação e no valor genético predito do indivíduo (Sturion e Resende, 2005). Desse modo, destaque deve ser dado para os caracteres índice de colheita e altura de plantas que apresentaram valores expressivos para herdabilidade ao nível de média e acurácia, o que demonstra a existência de alta variabilidade genética aditiva, precisão na identificação e possibilidade de sucesso na seleção de populações.

A herdabilidade individual no sentido restrito ou herdabilidade aditiva dentro de populações apresentou valores de magnitude muito baixa para todos os caracteres, tanto considerando seleção massal quanto dentro de populações. Esses baixos valores de herdabilidade sugerem que não há condições favoráveis para a seleção de plantas individuais, pois valores baixos desse parâmetro indicam a existência de pouca variabilidade genética. Foram baixas também as acurácias na seleção individual, com valores de moderado a baixo de acordo com a classificação de Resende (2007a).

As herdabilidades individuais dentro de populações são de baixa magnitude, mas devem ser interpretadas como adicionais às herdabilidades entre populações, quando o método do BLUP individual é usado. Nesse sentido, as herdabilidades individuais dentro de populações para índice de colheita e altura de planta foram de consideráveis magnitudes, equivalendo a 11,29% e 10,39%, respectivamente. Esses valores contribuíram para maior ganho com o BLUP individual em relação ao BLUP de populações.

Fica evidente que a avaliação de indivíduos utilizando o BLUP deu maior peso à informação baseada na média de populações. Porém, houve uma contribuição proporcionada pela seleção dentro de populações, a qual pode ser notada pelo acréscimo nos valores de acurácia se comparada a acurácia na seleção de populações e a acurácia na seleção combinada entre e dentro de populações. A eficiência com seleção dentro de populações (Tabela 3), obtida como a razão entre a acurácia na seleção combinada entre e dentro e a acurácia de seleção entre populações, foi de 1,01 para número de perfilhos, 1,03 para índice de colheita e 1,03 para altura de planta. Nestas condições, a seleção dentro de populações superiores proporciona ganhos de 1% para número de perfilhos e

3% para índice de colheita e altura de planta. Para produção de grãos a eficiência não foi alterada, uma vez que a herdabilidade individual foi quase nula.

A estatística coeficiente de variação genético aditiva individual (CV<sub>gi</sub>) quantifica a porcentagem de variação genética acessível nos materiais genéticos experimentais, portanto, altos valores são desejáveis. Estabelecendo a relação entre CV<sub>gi</sub> e CV<sub>e</sub> (coeficiente de variação experimental) obtém-se o coeficiente de variação relativa (CV<sub>r</sub>). Valor de CV<sub>r</sub> superior a 1,0 indica situação favorável à seleção (Vencovsky e BARRIGA, 1992) e propicia inferências com acurácia e precisão alta ou muito alta (Resende e Duarte, 2007). Para o caráter índice de colheita e altura de planta o valor apresentado para o coeficiente de variação relativo foi superior a 1,0 indicando grande possibilidade de sucesso com a seleção entre progênies, visto que esse parâmetro indica que a variação genética entre progênies é bem maior que a variação ambiental; o contrário ocorreu para o caráter produção de grãos e número de perfilhos.

De acordo com Ramalho et al. (2013) o sucesso na seleção de progênies superiores está intrinsecamente ligado com a experimentação adequada, uma vez que para a análise estatística resultar em boas previsões de BLUP é indispensável haver boas estimativas de componentes de variância. O coeficiente de variação experimental é referência sobre o nível de precisão com que o experimento foi conduzido. Os valores de CV<sub>e</sub> obtidos neste experimento podem ser considerados baixos, o que demonstra boa precisão (Tabela 3).

Assim como o coeficiente de variação experimental, o coeficiente de determinação dos efeitos de parcela ( $c_2$ ) é medida da qualidade experimental; mede a variação ambiental entre parcelas dentro de blocos. Valores elevados de  $c_2$  significa alta variabilidade entre parcelas dentro de bloco e alta correlação ambiental entre observações dentro da parcela (Sturion e Resende, 2004).

Neste trabalho, foram obtidos valores baixos de  $c_2$ , variando de 1,39% para altura de planta a 8,29% para o índice de colheita (Tabela 3), o que evidencia que menos de 10% da variação fenotípica total é função da variação ambiental entre parcelas dentro do bloco. Também é válida a interpretação de que, em virtude dos baixos valores observados para  $c_2$ , houve baixa variabilidade ambiental entre parcelas dentro do bloco e baixa correlação ambiental entre observações dentro da parcela. Essa informação é confirmada pela contribuição expressiva da variância fenotípica dentro de parcela para a variância fenotípica total (Tabela 3), mostrando que a maioria da variação ambiental encontra-se dentro de parcelas.

O efeito aditivo e o valor genético aditivo específico de cada população segregante e o ganho genético predito com a seleção estão apresentados na Tabela 4, para o caráter produção de grãos e índice de colheita, e na Tabela 5, para o caráter número de perfilhos e altura de planta.

Quando se analisa efeito de tratamentos, tomando-os como aleatórios, os testes de comparações múltiplas entre médias de tratamentos não devem ser utilizados, uma vez que estes são derivados em suposição de efeitos de tratamentos como fixos e também porque são aplicados e produzem inferências sobre médias fenotípicas e não médias genotípicas (Resende, 2004). O que se obtém na análise de modelos mistos é um ordenamento decrescente dos genótipos em função de seus valores genéticos (Duarte e Vencovsky, 2001), já corrigidos e penalizados para a ocorrência de efeitos ambientais.

Verifica-se nas Tabelas 4 e 5 que dentre as 10 melhores populações segregantes com maior valor genético para cada caráter, cinco (3, 5, 15, 18 e 21) são comuns entre a produção de grãos, índice de colheita e altura de planta; sete (3, 4, 5, 15, 16, 18 e 21) são comuns para índice de colheita e altura de planta. A população 21 está entre as 10 superiores para os quatro caracteres. Essas observações evidenciam a possibilidade de encontrar dentro dessas populações, indivíduos que concentram alelos favoráveis para os quatro caracteres.

A superioridade das populações supracitadas é comprovada na Tabela 6, na qual é possível notar a contribuição de cada população para o total de indivíduos selecionados considerando porcentagem de seleção de 10 e 20%. Os ganhos preditos com a seleção de indivíduos superiores com base no efeito aditivo foram expressivos. Considerando a porcentagem de seleção de 10%, que corresponde à seleção de 836 indivíduos para produção de grãos e índice de colheita e 850 para número de perfilhos e altura de planta, os ganhos variaram entre 7,3% para produção de grãos e 12,5% para índice de colheita. Para porcentagem de seleção de 20%, que implica na seleção de 1672 indivíduos para produção de grãos e índice de colheita e 1699 para número de perfilhos e altura de planta, a variação foi de 6,4% para produção e 10,9% para índice de colheita (Tabela 6 e 7).

Esses ganhos foram preditos a partir do valor genético médio das populações e o valor genético médio dos indivíduos selecionados; este último representa a soma do efeito aditivo médio dos indivíduos selecionados e o valor genético médio das populações.



**Tabela 4.** Efeito genético aditivo (a), valor genético aditivo (u+a) e ganho genético acumulado (GA) predito para 36 populações segregantes F<sub>3</sub> de trigo (Pop.) para os caracteres produção de grãos (g/planta) e índice de colheita. Viçosa-MG, 2009. <sup>(1)</sup>

Ordem	Produção de grãos				Índice de colheita			
	Pop.	a	u+a	GA (%)	Pop.	a	u+a	GA (%)
1	19	0,4465	6,56	7,8	19	0,0425	0,36	14,1
2	21	0,4396	6,55	7,7	5	0,0363	0,35	13,1
3	3	0,3708	6,48	7,3	15	0,0317	0,35	12,3
4	1	0,3471	6,46	7,0	3	0,0306	0,35	11,7
5	14	0,3367	6,45	6,8	6	0,0278	0,35	11,2
6	15	0,3216	6,43	6,6	16	0,0275	0,35	10,9
7	18	0,3027	6,41	6,4	18	0,0264	0,34	10,6
8	13	0,2814	6,39	6,2	4	0,0247	0,34	10,3
9	5	0,2576	6,37	6,0	1	0,0219	0,34	10,0
10	2	0,2089	6,32	5,8	21	0,0214	0,34	9,7
11	16	0,1979	6,31	5,6	22	0,0205	0,34	9,4
12	6	0,1720	6,28	5,4	17	0,0168	0,33	9,1
13	30	0,1516	6,26	5,2	13	0,0099	0,33	8,7
14	4	0,1491	6,26	5,0	24	0,0093	0,33	8,3
15	31	0,1379	6,25	4,8	14	0,0048	0,32	7,8
16	22	0,1239	6,24	4,6	12	0,0027	0,32	7,4
17	24	0,0645	6,18	4,4	2	-0,0028	0,31	6,9
18	17	0,0565	6,17	4,2	33	-0,0039	0,31	6,4
19	12	0,0203	6,13	4,0	23	-0,0044	0,31	6,0
20	36	-0,0076	6,10	3,8	26	-0,0050	0,31	5,6
21	34	-0,0092	6,10	3,6	31	-0,0073	0,31	5,3
22	33	-0,0916	6,02	3,4	36	-0,009	0,31	4,9
23	32	-0,0965	6,02	3,2	25	-0,0116	0,31	4,5
24	26	-0,1013	6,01	3,0	32	-0,0120	0,31	4,1
25	10	-0,1379	5,97	2,8	7	-0,0121	0,31	3,8
26	9	-0,2060	5,91	2,5	34	-0,0128	0,30	3,5
27	27	-0,2183	5,89	2,3	9	-0,0144	0,30	3,2
28	25	-0,2568	5,86	2,0	10	-0,0214	0,30	2,8
29	28	-0,2708	5,84	1,8	30	-0,0217	0,30	2,5
30	35	-0,3015	5,81	1,6	28	-0,0221	0,30	2,2
31	7	-0,3289	5,78	1,3	27	-0,0238	0,29	1,8
32	29	-0,3365	5,78	1,1	20	-0,0266	0,29	1,5
33	20	-0,4539	5,66	0,8	35	-0,0279	0,29	1,2
34	23	-0,4857	5,63	0,6	29	-0,0306	0,29	0,8
35	8	-0,5213	5,59	0,3	11	-0,0346	0,28	0,5
36	11	-0,5631	5,55	0,0	8	-0,0506	0,27	0,0

<sup>(1)</sup> Valor genético obtido com a média geral e ganho acumulado predito com base na média das populações.

**Tabela 5.** Efeito genético aditivo (a), valor genético aditivo (u+a) e ganho genético acumulado (GA) predito em 36 populações segregantes F<sub>3</sub> de trigo (Pop) para os caracteres número de perfilhos e altura de planta (cm). Viçosa-MG, 2009. <sup>(1)</sup>

Ordem	Número de perfilhos				Altura de planta			
	Pop	a	u+a	GA (%)	Pop.	a	u+a	GA (%)
1	30	0,5402	5,74	10,8	17	-10,62	87,86	10,68
2	36	0,4210	5,62	9,6	5	-8,64	89,85	9,68
3	32	0,4064	5,61	9,1	15	-8,58	89,90	9,33
4	31	0,4036	5,61	8,9	23	-7,64	90,85	8,92
5	21	0,3569	5,56	8,5	3	-7,01	91,47	8,55
6	27	0,3190	5,52	8,2	16	-6,18	92,31	8,16
7	24	0,2537	5,46	7,7	22	-5,7	92,79	7,81
8	8	0,2220	5,43	7,3	21	-5,07	93,42	7,47
9	26	0,2190	5,42	7,0	4	-4,66	93,83	7,16
10	33	0,1664	5,37	6,6	18	-4,24	94,25	6,87
11	19	0,1300	5,33	6,3	12	-3,63	94,85	6,58
12	18	0,0973	5,30	5,9	29	-3,45	95,04	6,32
13	9	0,0789	5,28	5,6	6	-3,16	95,33	6,08
14	12	0,0544	5,26	5,2	33	-2,96	95,53	5,86
15	25	0,0486	5,25	5,0	19	-2,31	96,18	5,62
16	29	0,0421	5,25	4,7	27	-2,14	96,34	5,40
17	1	0,0397	5,24	4,5	9	-1,85	96,64	5,20
18	2	0,0328	5,24	4,3	24	-1,77	96,71	5,01
19	3	0,0242	5,23	4,1	35	-1,09	97,40	4,80
20	7	0,0155	5,22	3,9	13	0,18	98,67	4,55
21	35	-0,0054	5,20	3,7	11	1,78	100,27	4,25
22	15	-0,0108	5,19	3,5	34	2,07	100,56	3,96
23	20	-0,0590	5,14	3,3	14	2,11	100,59	3,70
24	13	-0,0716	5,13	3,1	26	2,67	101,16	3,43
25	34	-0,0826	5,12	2,9	1	2,73	101,22	3,18
26	28	-0,1324	5,07	2,7	32	3,56	102,04	2,92
27	6	-0,1400	5,06	2,5	31	3,78	102,26	2,67
28	14	-0,1420	5,06	2,3	7	4,86	103,35	2,40
29	10	-0,1554	5,05	2,1	10	5,33	103,82	2,14
30	22	-0,2243	4,98	1,9	28	6,33	104,81	1,85
31	5	-0,3374	4,87	1,6	20	6,54	105,02	1,58
32	17	-0,4192	4,78	1,3	2	6,96	105,45	1,31
33	16	-0,5095	4,69	1,0	36	7,36	105,85	1,05
34	23	-0,5108	4,69	0,6	30	8,31	106,80	0,77
35	4	-0,5223	4,68	0,3	25	12,17	110,65	0,40
36	11	-0,5491	4,65	0,0	8	13,93	112,42	0,00

<sup>(1)</sup> Valor genético obtido com a média geral e ganho acumulado predito com base na média das populações.

**Tabela 6.** Número de plantas selecionadas por população considerando seleção de 10% e 20% dos indivíduos, independente de população, para quatro caracteres em trigo. Viçosa-MG, 2009.

População	10%				20%			
	PG	IC	NP	AP	PG	IC	NP	AP
1	82	4	-	-	225	68	-	-
2	-	-	-	-	4	-	-	-
3	151	120	-	64	214	180	-	209
4	-	15	-	-	1	125	-	35
5	-	191	-	217	35	226	-	232
6	-	47	-	-	1	198	-	1
7	-	-	-	-	-	1	-	-
8	-	-	-	-	-	-	71	-
9	-	-	-	-	-	-	-	17
10	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	1	-	-	-	13
13	6	-	-	-	96	-	-	-
14	80	-	-	-	248	-	-	-
15	38	145	-	207	208	199	-	227
16	-	50	-	10	3	179	-	200
17	-	-	-	215	-	9	-	215
18	19	25	-	-	175	154	-	20
19	236	232	-	-	236	237	-	1
20	-	-	-	-	-	-	-	-
21	223	6	42	-	223	58	226	79
22	-	1	-	4	-	38	-	167
23	-	-	-	118	-	-	-	208
24	-	-	1	-	-	-	168	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-
26	1	-	-	-	1	-	64	-
27	-	-	6	-	-	-	224	8
28	-	-	-	-	-	-	-	40
29	-	-	-	13	-	-	-	-
30	-	-	240	-	1	-	240	-
31	-	-	156	-	1	-	219	-
32	-	-	186	-	-	-	236	-
33	-	-	-	-	-	-	10	24
34	-	-	-	1	-	-	-	1
35	-	-	-	-	-	-	-	2
36	-	-	219	-	-	-	241	-
Nº de selecionados	836	836	850	850	1672	1672	1699	1699
Média dos selecionados	6,1355	0,3380	54,480	90,3676	6,0874	0,3333	5,3765	91,7160
Média das populações	5,7205	0,3005	4,9931	99,4448	5,7205	0,3005	4,9931	99,4448
Ganho genético predito	0,415	0,0375	0,4549	9,0772	0,3669	0,0328	0,3834	7,7288
Ganho genético predito (%)	7,25	12,48	9,11	9,13	6,41	10,92	7,68	7,76

<sup>(1)</sup> PG: produção de grãos (g/planta); IC: índice de colheita; NP: número de perfilhos; AP: altura de planta (cm).

**Tabela 7.** Efeito genético aditivo (a), valor genético aditivo individual (u+a) e ganho acumulado (GA) predito com seleção de 10 e 20% dos indivíduos, para os caracteres produção de grãos (g/planta), índice de colheita, número de perfilhos e altura de planta (cm) em trigo. Viçosa-MG, 2009.<sup>(1)</sup>

Ordem <sup>(2)</sup>	Produção de grãos					Índice de colheita				
	Pop	Planta	a	u+a	GA (%)	Pop	Planta	a	u+a	GA (%)
1	19	31	0,851	6,963	14,9	19	31	0,077	0,395	25,6
2	21	17	0,631	6,743	13,0	19	82	0,077	0,395	25,6
3	19	86	0,625	6,737	12,3	19	63	0,064	0,382	24,1
4	21	78	0,568	6,680	11,7	19	66	0,055	0,373	22,7
5	19	4	0,565	6,677	11,3	19	72	0,053	0,371	21,7
6	19	2	0,556	6,668	11,1	19	81	0,052	0,370	21,0
7	21	14	0,554	6,666	10,9	19	65	0,052	0,370	20,5
8	21	20	0,541	6,653	10,7	19	37	0,051	0,369	20,0
9	3	4	0,534	6,646	10,5	19	44	0,051	0,369	19,7
10	21	16	0,532	6,644	10,4	19	31	0,051	0,369	19,4
11	21	42	0,530	6,642	10,3	16	81	0,051	0,369	19,2
12	1	31	0,526	6,638	10,2	19	36	0,050	0,368	19,0
13	19	8	0,524	6,636	10,1	19	19	0,049	0,367	18,8
14	19	23	0,524	6,636	10,1	19	33	0,049	0,367	18,6
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
836	15	54	0,351	6,463	7,3	15	42	0,031	0,349	12,5
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1672	13	38	0,286	6,398	6,4	1	87	0,025	0,343	10,9
	Média geral:				6,1121	Média geral:				0,3177
	Média das populações:				5,7205	Média das populações:				0,3005
Ordem	Número de perfilhos					Altura de planta				
	Pop	Planta	a	u+a	GA (%)	Pop	Planta	a	u+a	GA (%)
1	30	40	0,662	5,865	13,3	17	21	-13,788	84,698	13,9
2	30	28	0,647	5,850	13,1	17	22	-13,621	84,864	13,8
3	30	8	0,620	5,823	12,9	17	15	-13,560	84,925	13,7
4	30	22	0,620	5,823	12,8	17	16	-13,249	85,237	13,6
5	30	30	0,620	5,823	12,7	17	63	-13,145	85,341	13,5
6	30	53	0,620	5,823	12,6	17	6	-12,729	85,757	13,4
7	30	68	0,620	5,823	12,6	17	31	-12,521	85,964	13,3
8	30	50	0,605	5,808	12,5	17	19	-12,521	85,964	13,2
9	30	57	0,605	5,808	12,5	17	14	-12,521	85,964	13,1
10	30	12	0,603	5,807	12,5	17	60	-12,479	86,007	13,1
11	30	41	0,603	5,807	12,4	17	65	-12,417	86,068	13,0
12	30	43	0,603	5,807	12,4	17	76	-12,375	86,111	13,0
13	30	61	0,603	5,807	12,4	17	64	-12,333	86,152	12,9
14	30	75	0,603	5,807	12,4	17	63	-12,126	86,360	12,9
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
850	36	62	0,384	5,588	9,1	16	35	-7,495	90,990	9,1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1699	24	14	0,236	5,439	7,7	3	21	-5,411	93,075	7,8
	Média geral:				5,2033	Média geral:				98,4856
	Média das populações:				4,9931	Média das populações:				99,4448

<sup>(1)</sup> Valor genético obtido com a média geral e ganho acumulado predito com base na média das populações.

<sup>(2)</sup> Os números 836 e 1672, para produção de grãos e índice de colheita, e 850 e 1699, para número de perfilhos e altura de planta, correspondem à seleção de 10 e 20% das plantas, respectivamente.

## Conclusões

1. Na avaliação de plantas individuais em trigo a variação ambiental dentro de parcela ou entre plantas apresenta contribuição majoritária para a variância fenotípica total.

2. Para os caracteres altura de planta e índice de colheita a herdabilidade individual contribui para maior ganho com o BLUP individual em relação ao BLUP de populações.

3. As populações Embrapa22/BRS207, Embrapa22/VI98053, Embrapa22/IVI01041, BRS254/BRS207, BRS254/VI98053, BRS254/UFVT1Pioneiro e BRS264/BRS207 se destacaram por apresentar valor genético aditivo elevado para dois ou mais caracteres.

## Referências Bibliográficas

CARGNIN, A.; SOUZA, M.A.; FRONZA, V. Progress in breeding of irrigated wheat for the Cerrado region of Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.8, p.39-46, 2008.

CARGNIN, A.; SOUZA, M.A.; FRONZA, V.; FOGAÇA, C.M. Genetic and environmental contributions to Increased wheat yield in Minas Gerais, Brazil. **Science Agriculture**, v.66, p.317-322, 2009.

CHIORATO, A.F.; CARBONELL, S.A.M.; DIAS, L.A.S.; RESENDE, M.D.V. Prediction of genotypic values and estimation of genetic parameters in common bean. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.51, p. 465-472, 2008.

COIMBRA, J.L.M.; KOPP, M.M.; SOUZA, V.Q.de; BENIN, G.; MARCHIORO, V.S.; CARVALHO, F.I.F.de; OLIVEIRA, A.C.de. Prediction of genetic value in F<sub>3</sub> populations of *Avena sativa* L. using REML/BLUP. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.5, p. 265-271, 2005.

COMISSÃO BRASILEIRA DE TRIGO E TRITICALE. **Informações técnicas para a safra 2008: Trigo e Triticale**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 147p. (Embrapa Soja. Documento, 301).

DUARTE, J.B.; VENCOSKY, R. Estimação e predição por modelo linear misto com ênfase na ordenação de médias de tratamentos genéticos. **Scientia Agricola**, v.58, p.109-117, 2001.

FEDERIZZI, L.C.; MILACH, S.C.K.; PACHECO, M.T. Melhoramento de aveia. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: UFV, 1999. p.131-157.

MAIA, M.C.C.; RESENDE, M.D.V.; OLIVEIRA, L.C.; ÁLVARES, V.S.; MACIEL, V.T.; LIMA, A.C. Seleção de clones experimentais de cupuaçu para características agroindustriais via modelos mistos. **Revista Agro@mbiente**, v.5, p.35-43, 2011.

- MENDES, M.P.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B. Strategies for selecting individuals in common bean breeding programs. **Bean Improvement Cooperative**, v.54, p.68-69, 2011.
- NEDEL, J.L. Progresso genético no rendimento de grãos de cultivares de trigo lançadas para cultivo entre 1940 e 1992. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, p.1565-1570, 1994.
- OAKEY, H.; VERBYLA, A.P.; PITCHFORD, W.; CULLIS, B.R.; KUCHEL, H. Joint modelling of additive and non-additive genetic line effects in single field trials. **Theoretical and Applied Genetics**, v.113, p.809-819, 2006.
- RAMALHO, M.A.P.; ARAÚJO, L.C.A. Breeding self-pollinated plants. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, S1, p.1-7, 2011.
- RAMALHO, M.A.P.; CARVALHO, B.L.; NUNES, J.A.R. Perspectives for the use of quantitative genetics in breeding of autogamous plants. **ISRN Genetics**, v.2013, 2013.
- RESENDE, M.D.V. **Análise estatística de modelos mistos via REML/BLUP na experimentação em melhoramento de plantas perenes**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 101p. (Documentos, 47).
- RESENDE, M.D.V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007a. 362p.
- RESENDE, M.D.V. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Colombo: Embrapa Floresta, 2004. (Documentos, 100).
- RESENDE, M.D.V. **Software SELEGEN-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007b. 359p.
- RESENDE, M.D.V.; DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, p.182-194, 2007.
- RESENDE, M.D.V.; HIGA, A.R. Estimacão de valores genéticos no melhoramento de Eucaliptus – seleção em um caráter com base em informações do individuo e seus parentes. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.28-29, p.11-36, 1994.
- STURION, J.A.; RESENDE, M.D.V. Eficiência do delineamento experimental e capacidade de teste no melhoramento genético da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.50, p.3-10, 2004.
- STURION, J.A.; RESENDE, M.D.V. Seleção de progênies de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) para produtividade, estabilidade e adaptabilidade temporal de massa foliar. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.50, p.37-51, 2005.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.

## CONCLUSÕES GERAIS

O estresse de calor reduz o número de espiguetas/espiga, número de grãos/espiga, número de grãos/espiguetas, peso de mil grãos e produtividade de grãos de trigo.

Os genótipos respondem de maneira diferenciada ao estresse de calor nos distintos estádios de desenvolvimento da planta.

As cultivares MGS 1 Aliança, Embrapa 42, IAC 24-Tucuruí e IAC 364-Tucuruí III são mais tolerantes entre o estádio de duplo anel e espiguetas terminal; MGS 1 Aliança, BRS 264, IAC 24-Tucuruí, IAC 364-Tucuruí III e VI 98053 entre a meiose e a antese; e BRS 254, IAC 24-Tucuruí, IAC 364-Tucuruí III e VI 98053 entre a antese e a maturação fisiológica.

A utilização da análise dialélica parcial em gerações avançadas é estratégia promissora para seleção de genitores e populações no melhoramento de trigo. Há consistência na capacidade de combinação entre genitores nas gerações  $F_2$  e  $F_3$ . Por esta metodologia, as populações provenientes do cruzamento entre os genitores BRS 264, IAC 364-Tucuruí III e BRS 254 com o MGS 1 Aliança, UFVT 1 Pioneiro e VI 98053 apresentam maior potencial para obtenção de linhagens superiores para o caráter produtividade de grãos.

Na avaliação de plantas individuais em trigo a variação ambiental dentro de parcela ou entre plantas apresenta contribuição majoritária para a variância fenotípica total.

Os caracteres produção de grãos, índice de colheita, número de perfilhos e altura de planta apresentaram herdabilidade, ao nível de média, variando de 39,15 a 92,78% e acurácias na seleção de populações variando de 62,57 a 96,32%.

As herdabilidades individuais no sentido restrito e a acurácia na seleção individual apresentaram valores de baixa magnitude. Apesar disso, para os caracteres altura de planta e índice de colheita a herdabilidade individual contribuiu para um maior ganho com o BLUP individual em relação ao BLUP de populações.

As populações identificadas como superiores para produção de grãos utilizando a metodologia REML/BLUP e a análise dialélica não são totalmente coincidentes. Essa diferença é decorrente dos parâmetros utilizados por cada metodologia no ordenamento das populações. A análise dialélica se baseia em informações dos genitores e no comportamento das progênies oriundas dos cruzamentos, e considera a frequência de alelos favoráveis e a diversidade genética entre genitores para estimação de parâmetros.

A metodologia REML/BLUP se baseia na informação das populações e dos indivíduos que compõem as populações, e considera apenas a frequência de alelos favoráveis como critério de ordenamento dos indivíduos e populações. Desse modo, a utilização de cada uma dessas metodologias nos programas de melhoramento genético deve ser feita com base nos objetivos do programa e em informações adicionais sobre os genitores e populações que estão sendo avaliados.