

Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade em trigo

Adeliano Cargnin¹
Moacil Alves de Souza²
Cláudia Martellet Fogaça¹

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar a consistência de três métodos de estimação dos parâmetros de adaptabilidade e a estabilidade de genótipos de trigo irrigado. Os dados de produtividade de grãos utilizados para as análises foram obtidos a partir de ensaios de Valor de Cultivo e Uso. Os experimentos foram conduzidos em 21 ambientes, nos anos de 2002, 2003 e 2004, em diferentes locais do Estado de Minas Gerais. O delineamento experimental usado foi o de blocos ao acaso, com 4 repetições. Os métodos de Eberhart e Russel (1966), de Cruz *et al.* (1989) e o de Carneiro (1998), empregados na avaliação da adaptabilidade e estabilidade foram eficientes na discriminação dos genótipos. O método de Cruz *et al.* (1989) apresentou maior aprimoramento para a recomendação de genótipos para ambientes específicos, comparado ao método de Eberhart e Russell (1966). O método proposto por Carneiro (1998) destacou-se pela unicidade do parâmetro de medida de adaptabilidade e estabilidade, facilitando a compreensão sobre o comportamento dos genótipos. Dentre os genótipos avaliados destaca-se a linhagem PF 973047 que apresenta adaptabilidade geral; os cultivares Pioneiro e BRS 207 responsivos à melhoria das condições ambientais; e a linhagem CPAC 98308 com adaptação específica para as condições desfavoráveis.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L., melhoramento genético, interação G x E, recomendação de cultivares.

ABSTRACT

Comparison of methods for adaptability and stability analysis of wheat

Three methods of estimation of adaptability and stability parameters in irrigated wheat genotypes were evaluated for their consistency. Grain yield data used for the analyses were obtained from Value of Cultivation and Use trials. The experiments were conducted in 21 environments, in 2002, 2003 and 2004, at different locations in the state of Minas Gerais. The experiments were arranged in randomized complete block design with four replications. The methods of Eberhart and Russel (1966), of Cruz *et al.* (1989) and of Carneiro (1998) tested in the evaluation of adaptability and stability proved effective to discriminate genotypes. Cruz *et al.*'s (1989) method was shown more adequate for recommendation of genotypes for specific environments than Eberhart and Russell's (1966) method. The method proposed by Carneiro (1998) stood out because the measure of behavioral adaptability and stability combined adaptation, adaptability and stability concepts in just one index, allowing the understanding of genotype behaviour. The most outstanding evaluated genotypes were line PF 973047 for general adaptability; cultivars Pioneiro and BRS 207 for responsiveness to improved environments; and line CPAC 98308 for specific adaptation to unfavorable conditions.

Keywords: *Triticum aestivum* L., genetic improvement, G x E interaction, cultivar recommendation.

Recebido para publicação em junho de 2007 e aprovado em junho de 2008.

¹ Embrapa Cerrados, BR 020, km 18, Cx. Postal 08223, 73310-970, Planaltina, DF. E-mail: adeliano.cargnin@cpac.embrapa.br

² Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitotecnia, Av. P.H. Rolfs, s/nº, 36570-000 Viçosa, MG. E-mail: moacil@ufv.br

INTRODUÇÃO

A diversidade de áreas de cultivo constitui uma solução para diminuir a variação na produção total, devido às condições climáticas em uma região não coincidirem com aquelas de outras regiões. Segundo Souza & Ramalho (2001), o cultivo do trigo é uma opção para rotação de culturas, necessária para manter as produtividades elevadas nas culturas de verão na região do Brasil-Central.

O sucesso da cultura do trigo na região central do Brasil é uma realidade. Cultivos comerciais em Minas Gerais e Goiás apresentaram produtividades superiores a 7.500 kg ha⁻¹ em lavouras situadas em altitude média acima de 800 m (Embrapa Trigo, 2004). Entretanto, a sua continuidade depende de cultivares mais bem adaptados à região, a fim de possibilitar maiores ganhos no potencial produtivo desta cultura.

A seleção e recomendação de genótipos mais produtivos são objetivos básicos dos programas de melhoramento genético de qualquer espécie cultivada, a exemplo do trigo. O sucesso comercial de um cultivar depende, dentre outros fatores, de seu desempenho agrônomico. Portanto, o maior desafio dos melhoristas é identificar uma linhagem que apresente ótimo desempenho (Caierão *et al.*, 2006). O processo de seleção é, freqüentemente, realizado pelo desempenho dos genótipos em diferentes ambientes (ano, local). Contudo, a decisão de lançamento de novos cultivares normalmente é dificultada pela freqüente ocorrência da interação genótipos x ambientes (Carvalho *et al.*, 2002; Cargnin *et al.*, 2006).

Estudos sobre a interação genótipos x ambientes, apesar de serem de grande importância para o melhoramento, não proporcionam informações pormenorizadas sobre o comportamento de cada genótipo em cada ambiente. Para tal objetivo, realizam-se análises de adaptabilidade e estabilidade, pelas quais torna-se possível a identificação de cultivares de comportamento previsível e que sejam responsivos às variações ambientais, seja em condições específicas ou amplas (Cruz & Carneiro, 2003).

Atualmente, há mais de uma dezena de métodos para análise de adaptabilidade e estabilidade, destinadas à avaliação de um grupo de material genético (Cruz & Carneiro, 2003). Dentre os métodos de adaptabilidade e estabilidade existentes, a proposta por Eberhart & Russell (1966) é uma das mais utilizadas na recomendação de cultivares. Nesse método, o comportamento de cada genótipo, nas variações ambientais, é estimado por meio de uma análise de regressão linear simples. Embora a análise de regressão seja um procedimento útil para a análise de adaptabilidade, nem todos os dados se ajustam ao modelo linear e, mesmo que isso aconteça, esse modelo pode não detectar pequenas diferenças. Neste sentido, Cruz *et al.* (1989) propuseram um método baseado na regressão bisegmentada para ava-

liar a resposta dos genótipos em dois grupos de ambientes: favorável e desfavorável. O método de Cruz *et al.* (1989) apresenta a vantagem de prover maiores informações (parâmetros) do conjunto de genótipos avaliados.

Existem genótipos com comportamento diferenciado em condições favoráveis e desfavoráveis de ambiente, mesmo empregando-se o método de Cruz *et al.* (1989), (Carbonell *et al.*, 2001). Portanto, são necessárias outras formas de avaliação do comportamento destes genótipos. Entre os métodos não paramétricos utilizados para estudo de adaptabilidade e estabilidade de cultivares, o método do trapézio quadrático ponderado pelo coeficiente de variação, proposto por Carneiro (1998), apresenta as seguintes vantagens quanto ao genótipo ideal: produtividade constante em ambientes considerados desfavoráveis, mas com capacidade de resposta à melhoria das condições ambientais; o parâmetro medida de adaptabilidade e estabilidade de comportamento (MAEC) contempla a dissimilaridade entre os locais, de modo que ambientes similares têm menor influência do que os dissimilares na determinação da superioridade do genótipo, porém, são representativos da rede; não é necessário assumir qualquer hipótese sobre a distribuição dos valores fenotípicos para utilização do parâmetro MAEC, pois, sua estimativa ponderada, pela precisão dos ensaios, elimina ou reduz os efeitos indesejáveis da ocorrência de heterogeneidade de variância residual.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a comparação dos métodos de adaptabilidade e a estabilidade de Eberhart e Russel (1966), Cruz *et al.* (1989) e o do trapézio quadrático ponderado pelo coeficiente de variação, proposto por Carneiro (1998), na cultura do trigo irrigado.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados de produtividade de grãos, obtidos nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), de dez linhagens (CPAC 9617, CPAC 96306, CPAC 9662, CPAC 97101, CPAC 9739, CPAC 98110, CPAC 98222, CPAC 98308, PF 91627 e PF 973047) e cinco cultivares (BRS 207, BRS 210, Embrapa 22, Embrapa 42 e Pioneiro) de trigo irrigado no Estado de Minas Gerais.

Os experimentos foram conduzidos em 21 ambientes distintos nos anos de 2002, 2003 e 2004, distribuídos em diferentes locais do Estado de Minas Gerais. Os locais dos experimentos foram: Perdizes, Viçosa, Lavras, Rio Paranaíba e Coromandel (2002, 2003 e 2004), Patos de Minas (2002 e 2003), Tupaciguara (2002 e 2004) e em Uberaba (2004). Para que um mesmo local de avaliação, com dois ou mais anos de ensaio VCU, fosse considerado um ambiente distinto, fundamental para a análise de adaptabilidade e estabilidade, foi realizada a análise de variância para detectar se a interação genótipos x ambientes apre-

sentava-se significativa. A análise foi realizada individualmente para cada local.

Os experimentos foram instalados, segundo a exigência mínima estabelecida para ensaio de VCU de trigo, conforme a Portaria nº 294, de 14 de outubro de 1998, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Assim, todos os ensaios foram estabelecidos em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. A parcela experimental foi constituída de cinco linhas com cinco metros de comprimento espaçadas 0,20 metros entre si, desconsiderando-se as duas linhas laterais como bordadura. Todos os tratamentos culturais foram executados conforme indicação das Comissões Centro-Brasileira de Pesquisa de Trigo. Os valores obtidos no peso das parcelas, a partir da trilha, foram corrigidos para umidade 13% e, posteriormente, transformados para kg ha⁻¹.

Os dados de cada experimento foram submetidos à análise de variância individual e, posteriormente, foi realizada a análise conjunta dos experimentos, envolvendo aqueles com coeficiente de variação residual inferior a 20%, conforme normas do VCU de trigo. O efeito de genótipos foi considerado fixo e os demais aleatórios (repetição, experimento e interação genótipos por experimentos). Para estimação dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, da produtividade de grãos dos genótipos, foram utilizados os métodos de Eberhart & Russell (1966), Cruz *et al.* (1989) e o do trapézio quadrático ponderado pelo coeficiente de variação, proposto por Carneiro (1998).

No método de Eberhart & Russell (1966), a adaptabilidade ou a resposta linear aos ambientes favoráveis e desfavoráveis é dada pela estimativa do parâmetro β_{li} , e a estabilidade pelos desvios de regressão $\sigma_{\delta_i}^2$, conforme o seguinte modelo: $Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \delta_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$, em que: Y_{ij} é a média de produtividade de grãos do genótipo i no ambiente j ; β_{0i} é a média geral; β_{1i} é o coeficiente de regressão linear; δ_{ij} é o desvio da regressão; $\bar{\epsilon}_{ij}$ é o erro experimental médio; I_j é o índice ambiental codificado $\left(\sum_j I_j = 0\right)$, dado por $I_j = \frac{1}{g} \sum_j Y_{ij} - \frac{1}{ag} Y$, para g genótipos e a ambientes.

No método da regressão linear bissegmentada de Cruz *et al.* (1989), a resposta linear aos ambientes desfavoráveis é dada pela estimativa de β_{1i} , e a resposta aos ambientes favoráveis por $\beta_{1i} + \beta_{2i}$. A estabilidade dos genótipos é avaliada pelos desvios da regressão ($\sigma_{\delta_i}^2$) de cada genótipo, em função das variações ambientais.

Nesse método, adota-se o seguinte modelo: $Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \beta_{2i}T(I_j) + \delta_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$ em que Y_{ij} , β_{0i} , I_j e $\bar{\epsilon}_{ij}$ são as variáveis definidas anteriormente;

$T(I_j) \begin{cases} = 0, & \text{se } I_j < 0 \\ = I_j - \bar{I}_+, & \text{se } I_j > 0 \end{cases}$ e, em que \bar{I}_+ é a média dos índices I_j positivos.

Utilizaram-se os dois modelos de análise para obtenção de conclusões consistentes sobre o comportamento dos genótipos, já que o modelo de Cruz *et al.* (1989) complementa o de Eberhart & Russell (1966), classificando os ambientes em favoráveis e desfavoráveis.

Entre os métodos propostos por Carneiro (1998), foi adotado o do trapézio quadrático, ponderado pelo coeficiente de variação residual (CV). Nesse método, o desempenho de cada genótipo é dado pela estatística a seguir:

$$P_i = \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{Y_{g(j+1)} + Y_{gj}}{2} \right) - \left(\frac{Y_{i(j+1)} + Y_{ij}}{2} \right) \right]^2 (\bar{Y}_{(j+1)} - \bar{Y}_j)$$

em que P_i é a estimativa da estatística MAEC do genótipo; Y_{ij} é a produtividade do i -ésimo genótipo, no j -ésimo ambiente; Y_{gj} é a estimativa da produtividade do genótipo hipotético ideal, no ambiente j , conforme modelo de Cruz *et al.* (1989), dado a seguir: $Y_{gj} = \beta_{0g} + \beta_{1g}I_j + \beta_{2g}T(I_j)$, em que β_{0g} é a máxima produtividade encontrada em todo o ensaio; $\beta_{1g} = 0,5$ e $\beta_{2g} = 1$ são os valores estabelecidos por Cruz & Carneiro (2003), um que reflete baixa resposta aos ambientes desfavoráveis ($\beta_{1g} = 0,5$), e outro que é responsivo às condições favoráveis ($\beta_{1g} + \beta_{2g} = 1,5$).

A estatística P_i é multiplicada pelo fator f , definido por $f = \frac{CV_j}{CV_T}$, em que CV_j representa o coeficiente de variação no ambiente, j e CV_T , a soma dos coeficientes de variação dos j ambientes. Assim, genótipos com menor valor de P_i apresentam comportamento mais próximo ao do genótipo hipotético ideal, além de se levar em consideração a similaridade dos locais, bem como a precisão de cada experimento (Carneiro, 1998).

Foi realizado o teste de Dunnett para comparação das médias de produção de grãos entre os genótipos avaliados. Este procedimento tem por finalidade realizar testes comparativos de médias de tratamentos e testemunhas. O valor da diferença mínima significativa é dado por:

$$DMS = td \sqrt{\frac{2QMR}{r}}$$

em que: QMR é o quadrado médio do resíduo; r é o número de repetições; td é o valor tabelado estabelecido em função de alfa, e os graus de liberdade para tratamentos e resíduos.

Todas as análises e testes foram realizados com o auxílio do programa GENES – Aplicativo computacional em genética e estatística da Universidade Federal de Viçosa (Cruz, 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os locais de experimentação, comuns a dois ou mais dos anos de 2002, 2003 e 2004, apresentaram interação genótipos x ambientes significativa, corroborando sua utilização como ambientes distintos. Caierão

et al. (2006) também verificaram existência de interação genótipos x ambientes, para um mesmo local de avaliação de trigo, na região centro-sul do Brasil, com dois anos (2003 e 2004) e validaram a utilização dos locais como ambientes distintos.

Nos ensaios de VCU de trigo, o efeito de genótipos foi significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, nos ambientes avaliados, exceto em Perdizes, no ano de 2002 e Lavras, Patos de Minas e Rio Parnaíba, em 2003 (Tabela 1). Todos os experimentos apresentaram boa precisão experimental, com coeficiente de variação abaixo de 20%, que é o limite postulado pela portaria nº 294 (Lei de Proteção de Cultivares). Os coeficientes de variação dos experimentos nos diferentes locais de avaliação oscilaram entre 5% e 17%, conferindo boa precisão aos experimentos, os quais, segundo Lúcio *et al.* (1999), são classificados como muito baixo a médio, respectivamente, sendo considerados habituais para ensaios agrícolas de trigo.

Dentre os 21 ambientes avaliados, 10 apresentaram índice ambiental negativo, ou seja, média de produtividade inferior à média de todos os locais. São eles: Rio Parnaíba, Perdizes, Lavras e Viçosa, em 2002, Rio Parnaíba, Lavras e Viçosa, em 2003, e Rio Parnaíba, Uberaba e Viçosa, em 2004. Este fato pode ser observado pela produtividade média dos genótipos nesses locais em cada ano avaliado (Tabela 1). O índice ambiental tem grande importância na interpretação dos resultados, já que dá o

embasamento científico para as respostas agrônomicas encontradas nas lavouras dos diferentes locais onde os ensaios estão localizados (Oliveira *et al.*, 2003). Isto não demonstra que esses ambientes são desfavoráveis à produção de trigo, pois esses locais apresentam elevada produtividade em relação à produtividade média brasileira que está em torno de 2.000 kg ha⁻¹. Dessa forma, deve-se ter cautela na interpretação dos resultados dos índices ambientais.

Uma vez verificada a homogeneidade das variâncias residuais pelo Teste de Hartley (Fmáximo) que é a razão entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo, cujo valor da relação foi 5,17 sendo inferior a sete (Cruz & Regazzi, 1997), e dada à uniformidade do planejamento nos ensaios, realizou-se a análise de variância conjunta dos experimentos. Pelo teste F foi possível verificar efeito significativo de genótipos, ambientes e da interação genótipos x ambientes. O coeficiente de variação de 11,79% para esta análise também proporcionou boa confiabilidade aos dados, o qual, segundo Lúcio *et al.* (1999), para a cultura do trigo é classificado como médio (Tabela 2).

Houve diferença significativa entre os genótipos para produtividade de grãos a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett (Tabela 3). Este procedimento (teste) tem por finalidade realizar testes comparativos de médias de tratamentos (genótipos) e testemunhas. Foram consideradas

Tabela 1. Resumo das análises de variâncias individuais, referentes aos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) de trigo irrigado, conduzidos em Minas Gerais, em diferentes locais nos anos de 2002, 2003 e 2004.

Ano	Local	QM genótipos	Produtividade (kg ha ⁻¹)	CV (%)
2002	Coromandel	2445958*	5.959	10
	Lavras	1387353*	3.946	14
	Patos de Minas	762081*	4.321	11
	Perdizes	427248 ^{ns}	3.098	17
	Rio Parnaíba	763264*	2.596	12
	Tupaciguara	1317194*	4.604	17
	Viçosa	1195737*	2.748	12
2003	Coromandel	1831242*	5.834	13
	Lavras	387029 ^{ns}	2.839	15
	Patos de Minas	369038 ^{ns}	4.661	9
	Perdizes	1093151*	4.493	12
	Rio Parnaíba	294888 ^{ns}	2.629	12
	Viçosa	678666*	3.389	11
2004	Coromandel	1413726*	5.341	7
	Lavras	945925*	4.616	16
	Perdizes	2029204*	4.754	6
	Rio Parnaíba	552906*	3.753	15
	Santo Ângelo	499408*	4.300	11
	Tupaciguara	912235*	5.560	5
	Uberaba	833391*	2.878	12
	Viçosa	899511*	2.753	12

^{ns} Não significativo. * significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F.

Tabela 2. Resumo da análise de variância conjunta, dos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) de trigo irrigado, avaliados no Estado de Minas Gerais.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio
Blocos/ambientes	63	323.090
Ambientes	20	73981015*
Genótipos	14	3127858*
Genótipos x Ambientes	280	921950*
Resíduo	882	227738
Média (kg ha ⁻¹)		4.048
Coefficiente de Variação (%)		11,79
Maior QMR/Menor QMR		5,17

^{ns} não significativo. * significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F.

como testemunhas as duas cultivares com maior média de produção de grãos, BRS 207 e Pioneiro, com produtividade igual a 4.300 kg ha⁻¹ e 4.262 kg ha⁻¹, respectivamente. Nenhuma linhagem apresentou produção média superior em relação às testemunhas, em valores absolutos. Porém, as linhagens PF 91627, PF 973047, CPAC 98222 e CPAC 9662 apresentaram-se altamente produtivas e competitivas, com produtividades médias que superaram a média geral dos ensaios, que foi de 4.048 kg ha⁻¹. Entretanto, a média geral de produção de grãos nos ambientes de avaliação, por si só, não pode ser considerada como critério de adaptação, já que muitas variáveis têm interferência no comportamento dos genótipos (Josephides, 1992).

Pelo método de Eberhart & Russell (1966), sete genótipos apresentaram adaptabilidade ampla, pois seus coeficientes de regressão não apresentaram dife-

rença significativa da unidade ($\beta_1 = 1$) (Tabela 3). Os genótipos em ordem decrescente de desempenho de produção média foram: PF 973047, BRS 210, Embrapa 22, Embrapa 42, CPAC 9739, CPAC 98110 e CPAC 96306 (Tabela 3). No entanto, os genótipos BRS 207, Pioneiro, PF 91627, CPAC 98222 e CPAC 9662, demonstraram adaptabilidade específica a ambientes favoráveis ($\beta_1 > 1$), ou seja, são genótipos que respondem positivamente ao estímulo (melhoria) do ambiente, com elevadas produtividades médias. Por outro lado, a linhagem CPAC 98308 apresentou-se com adaptabilidade específica para ambientes desfavoráveis ($\beta_1 < 1$), com produtividade média de 3.986 kg ha⁻¹.

Quanto à estabilidade de comportamento, dada pela estimativa dos desvios da regressão ($\hat{\sigma}_{di}^2$), foi possível observar que, dentre todos os genótipos avaliados, nenhum apresentou desvios de regressão não significativos e, portanto, considerados de baixa estabilidade, ou seja, de baixa previsibilidade de comportamento frente à mudança do ambiente. Entretanto, todos os genótipos acima destacados, apresentaram previsibilidade tolerável, pois seus coeficientes de determinação (R²%) foram superiores a 80%, o que, segundo Cruz & Regazzi (1997), constituiu-se numa medida auxiliar na avaliação da estabilidade dos genótipos, quando os desvios de regressão são estatisticamente diferentes de zero.

O genótipo de comportamento ideal, segundo o método de Cruz *et al.* (1989), não foi encontrado entre os analisados neste estudo. Todavia, sob condições ambientais individualizadas (favoráveis ou desfavoráveis), observou-

Tabela 3. Estimativa da produtividade média de grãos ($\hat{\beta}_0$) em kg ha⁻¹, dos coeficientes de regressão ($\hat{\beta}_1$), desvios de regressão ($\hat{\sigma}_d^2$) e coeficientes de determinação (R²), segundo o método de Eberhart & Russell (1966), de genótipos de trigo irrigado avaliados em 21 ambientes no Estado de Minas Gerais.

Genótipo	$\hat{\beta}_0$ (Média)	$\hat{\beta}_1$ (Adaptabilidade)	(Estabilidade)	R ² (%)
BRS 207	4.300	1,26**	101.105**	93
BRS 210	4.117	0,99 ^{ns}	72.013**	91
CPAC 9617	3.584 ^(a)	0,89*	70.412**	89
CPAC 96306	3.907 ^(a)	1,09 ^{ns}	239.328**	84
CPAC 9662	4.105	1,13**	89.365**	92
CPAC 97101	3.791 ^(a)	0,61**	343.051**	55
CPAC 9739	3.966	1,07 ^{ns}	96.329**	91
CPAC 98110	3.966	0,92 ^{ns}	188.244**	82
CPAC 98222	4.132	1,11*	193.314**	86
CPAC 98308	3.986	0,85**	118.761**	84
EMBRAPA 22	4.114	0,91 ^{ns}	125.588**	86
EMBRAPA 42	4.018	0,92 ^{ns}	135.832**	85
PF 91627	4.262	1,10*	70.411**	92
PF 973047	4.204	0,99 ^{ns}	138.664**	87
PIONEIRO	4.268	1,17**	99.823**	92

^(a) média significativamente diferente dos cultivares testemunhas BRS 207 e Pioneiro, pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade.

^{ns} não significativo.

* e ** significativamente diferente de um pelo teste t, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 4. Estimativas das médias de produtividade de grãos ($\hat{\beta}_0$) em kg ha⁻¹, dos coeficientes ($\hat{\beta}_1$ e $\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2$), desvios de regressão ($\hat{\sigma}_d^2$) e coeficientes de determinação (R^2), para os genótipos de trigo irrigado e sequeiro, em Minas Gerais, segundo o método de Cruz *et al.* (1989).

Genótipo	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$ (Desfavorável)	$\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2$ (Favorável)	$\hat{\sigma}_d^2$	R^2 (%)
BRS 207	4.300	1,27**	1,22 ^{ns}	665.776**	93
BRS 210	4.117	0,99 ^{ns}	0,98 ^{ns}	544.387**	91
CPAC 9617	3.584	0,90*	0,82 ^{ns}	533.877**	89
CPAC 96306	3.907	1,08 ^{ns}	1,11 ^{ns}	1.250.161**	84
CPAC 9662	4.105	1,15**	1,05 ^{ns}	610.726**	92
CPAC 97101	3.791	0,65**	0,40**	1.643.821**	56
CPAC 9739	3.966	1,11*	0,84 ^{ns}	599.094**	91
CPAC 98110	3.966	0,89*	1,05 ^{ns}	1.018.433**	82
CPAC 98222	4.132	1,09 ^{ns}	1,26*	1.035.575**	87
CPAC 98308	3.986	0,81**	1,03 ^{ns}	709.992**	85
EMBRAPA 22	4.114	0,90*	1,01 ^{ns}	761.396**	86
EMBRAPA 42	4.018	0,95 ^{ns}	0,78 ^{ns}	794.021**	85
PF 91627	4.262	1,12*	0,99 ^{ns}	525.500**	93
PF 973047	4.204	0,98 ^{ns}	1,03 ^{ns}	824.191**	87
PIONEIRO	4.268	1,12*	1,43**	595.630**	93

^{ns} não significativo. * e ** significativamente diferente de um pelo teste t, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

se que alguns genótipos apresentaram comportamento satisfatório em uma ou outra condição (Tabela 4). O cultivar Pioneiro apresentou coeficiente de regressão ($\beta_1 + \beta_2$) igual a 1,43 no método de Cruz *et al.* (1989), estatisticamente superior à unidade, e de magnitude superior ao coeficiente de regressão estimado pelo método de Eberhart & Russell (1966), que foi de 1,17. Esse resultado evidencia ser o método de Cruz *et al.* (1989) mais refinado na recomendação de cultivares, para condições específicas de ambientes, favoráveis, desfavoráveis ou ambas, comparado ao método de Eberhart & Russell (1966). De fato, a linhagem CPAC 9739 apresentou-se como de adaptabilidade ampla pelo método de Eberhart & Russell (1966), porém, de comportamento contrário pelo método de Cruz *et al.* (1989), sensível às condições desfavoráveis de am-

bientes ($\beta_1 > 1$) e não responsiva à melhoria das condições ambientais ($\beta_1 + \beta_2 < 1$), conforme apresentado na figura 1. Resultados semelhantes a respeito desses métodos também foram relatados por Oliveira *et al.* (2006) trabalhando com feijão.

Embora nenhum dos genótipos avaliados tenha apresentado comportamento ideal, surge a necessidade de se determinar quais se aproximam mais do ideótipo, em cada condição ambiental. Entretanto, essa tarefa é bastante difícil, em razão dos vários parâmetros (β_0 , β_1 , $\beta_1 + \beta_2$, σ_{di}^2 e R^2) considerados pelo método de Cruz *et al.* (1989) para se alcançar uma recomendação mais refinada para cada uma dessas condições ambientais (Oliveira *et al.*, 2006). Para contornar essas dificuldades, Carneiro (1998) apresentou alguns métodos não paramétricos,

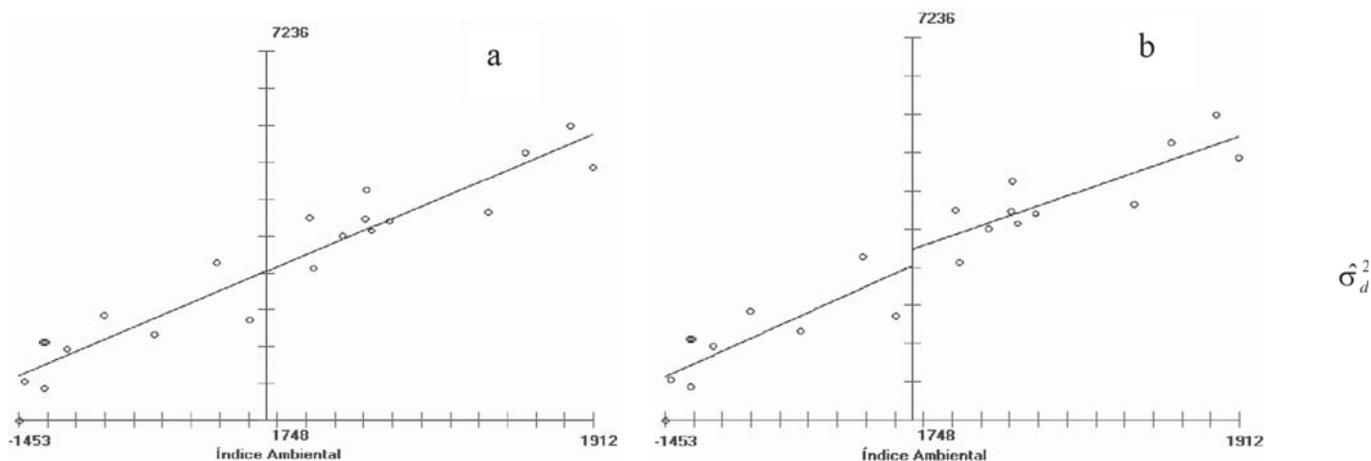


Figura 1. Comportamento fenotípico da linhagem CPAC 9739, pelos métodos de Eberhart & Russell (1966) (a) e de Cruz *et al.* (1989) (b).

Tabela 5. Produtividade de grãos (kg ha⁻¹) e estimativas de estabilidade (P_g), pelo método do trapézio ponderado pelo CV, segundo Carneiro (1998), para os 15 genótipos de trigo irrigado, avaliados em 21 ambientes, no Estado de Minas Gerais, a partir da decomposição em ambientes favoráveis (P_f), desfavoráveis (P_d) e suas classificações (Class.).

Genótipo	Média	P _g (10 ⁶)	Class.	P _f (10 ⁶)	Class.	P _d (10 ⁶)	Class.
BRS 207	4.300	1.557	1	635	1	921	4
BRS 210	4.117	1.759	6	793	5	965	9
CPAC 9617	3.584	2.297	15	1.175	14	1.121	14
CPAC 96306	3.907	2.006	13	879	9	1.126	15
CPAC 9662	4.105	1.683	4	752	3	931	5
CPAC 97101	3.791	2.208	14	1.217	15	990	11
CPAC 9739	3.966	1.900	11	901	10	998	12
CPAC 98110	3.966	1.968	12	922	11	1.045	13
CPAC 98222	4.132	1.788	7	842	7	945	8
CPAC 98308	3.986	1.841	9	977	13	864	1
EMBRAPA 22	4.114	1.809	8	865	8	943	7
EMBRAPA 42	4.018	1.900	10	963	12	936	6
PF 91627	4.262	1.667	3	683	2	978	10
PF 973047	4.204	1.732	5	838	6	894	2
PIONEIRO	4.268	1.661	2	767	4	899	3

em que há tendência de se expressar em um ou poucos parâmetros o desempenho e o comportamento de um genótipo, em termos de rendimento, capacidade de resposta às variações ambientais e suas flutuações, o que envolve conceitos de adaptação, adaptabilidade e estabilidade de comportamento.

Os genótipos CPAC 98308, PF 973047, Pioneiro, BRS 207 e CPAC 9662 foram os que mais se aproximaram do ideótipo para as condições desfavoráveis, pelo método de Carneiro (1998) (Tabela 5). Da mesma forma, os cinco genótipos que se destacaram com ideótipo mais aproximado para as condições de ambiente favorável foram BRS 207, PF 91627, CPAC 9662, Pioneiro e BRS 210. Para recomendação geral, destacaram-se os genótipos BRS 207, Pioneiro, PF 91627, CPAC 9662 e PF 973047 (Tabela 5). Verifica-se que, independentemente da condição ambiental, a recomendação do genótipo é imediata, em razão da unicidade do parâmetro de Medida de Adaptabilidade e Estabilidade de Comportamento (MAEC), derivados pelas estimativas de P_i. (Tabela 5).

Verifica-se que muitos dos genótipos são comuns a uma ou mais condições ambientais. Assim, o comportamento dos genótipos nas três condições de ambiente (ambiente geral, favorável e desfavorável) pode ser verificado pela correlação classificatória de Spearman entre os valores de P_i. Para a condição de ambiente geral e favorável, o valor desta correlação foi alto e positivo ($r = 0,91, p < 0,01$), demonstrando que os genótipos que mais se aproximaram do ideótipo para ambiente geral também o são para condições de ambiente favorável. Da mesma forma, o valor da correlação classificatória de Spearman de 0,69 ($pd < 0,01$) entre ambiente geral e desfavorável, evidencia que há genótipos de

comportamento semelhante em ambas as condições. No entanto, o valor da correlação ($r = 0,37, p > 0,05$) entre os valores de P_i entre as condições de ambiente favorável e desfavorável, corrobora que não existe neste grupo de genótipos o ideal para ambas as condições.

Observa-se que alguns genótipos, como a cultivar Pioneiro, apresentaram valor de P_i de magnitude semelhante, tanto para ambiente geral quanto para as condições de ambiente favorável ou desfavorável. Por outro lado, há genótipos que apresentaram comportamento diferente, com valores de P_i específicos, seja para condições favoráveis ou desfavoráveis. Este comportamento, segundo Oliveira *et al.* (2006) era esperado, pois, neste método de Carneiro (1998), o genótipo ideal para ambiente geral, ou seja, aquele de comportamento ideal tanto nas condições favoráveis quanto nas desfavoráveis é definido segundo o conceito de Verma *et al.* (1978) e o modelo de Cruz *et al.* (1989), como o que apresenta coeficiente de regressão (β_1) igual a 0,5 para as condições desfavoráveis, e coeficiente de regressão ($\beta_1 + \beta_2$) igual a 1,5 para as condições favoráveis. Deste modo, genótipos de adaptabilidade geral obterão valores de P_i semelhantes e de pequena magnitude, nas três condições de ambiente (ambiente geral, favorável e desfavorável). Todavia, os genótipos de adaptabilidade específica, para condições favoráveis ou desfavoráveis, apresentarão valores de P_i de magnitude, apenas nessas condições.

O estudo de adaptabilidade e estabilidade, utilizando o método de Carneiro (1998), permitiu uma recomendação imediata dos genótipos em avaliação, em razão da unicidade do parâmetro MAEC e, ainda, uma avaliação do comportamento de cada genótipo, ou seja, de sua resposta em função da variação ambiental. Deve-se ainda, sali-

entar que as diferenças em relação ao ideótipo ideal são elevadas ao quadrado, apresentando, portanto, propriedade de variância que é traduzida por este método em estabilidade de comportamento. Neste método, os ambientes similares têm menor peso, fazendo com que a regressão seja mais representativa do comportamento dos genótipos (Cruz & Carneiro, 2003). Verifica-se assim, a grande utilidade e eficiência deste método na recomendação de cultivares. Resultados semelhantes também foram obtidos por Carbonell *et al.* (2001) e Oliveira *et al.* (2006), em trabalhos com a cultura do feijão.

CONCLUSÕES

Dentre os genótipos avaliados destaca-se a linhagem PF 973047 que apresenta adaptabilidade geral; os cultivares Pioneiro e BRS 207 responsivos à melhoria das condições ambientais; e a linhagem CPAC 98308 com adaptação específica para as condições desfavoráveis.

Ambos os métodos empregados na avaliação da adaptabilidade e estabilidade são eficientes na discriminação dos genótipos.

O método de Cruz *et al.* apresenta maior aprimoramento para a recomendação de genótipos para condições específicas de ambiente, comparado ao método de Eberhart & Russell.

O método do trapézio quadrático ponderado pelo CV, proposto por Carneiro, destaca-se em razão da unicidade do parâmetro MAEC (medida de adaptabilidade e estabilidade de comportamento), que reúne os conceitos de adaptação, adaptabilidade e estabilidade.

REFERÊNCIAS

- Caierão E, Silva MS, Scheeren PL, Del Luca LJA, Junior AN, Pires JL (2006) Análise da adaptabilidade e estabilidade de genótipos de trigo como ferramenta auxiliar na recomendação de novas cultivares. *Ciência Rural*, 36:1112-1117.
- Carbonell SAM, Azevedo Filho JA de, Dias LAS, Gonçalves C, Antonio CB (2001) Adaptabilidade e estabilidade de produção de cultivares e linhagens de feijoeiro no Estado de São Paulo. *Bragantia*, 60:69-77.
- Cargnin A, Souza MA, Carneiro PCS, Sofiatti V (2006) Interação entre genótipos e ambientes e implicações em ganhos com seleção em trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41:987-993.
- Carneiro PCS (1998) Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento. Tese de Doutorado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 168p.
- Carvalho CGP, Arias CAA, Toledo JFF, Almeida LA, Kiihl RAS, Oliveira MF (2002) Interação genótipo x ambiente no desempenho produtivo da soja no Paraná. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37:989-1000.
- Cruz CD (2001) Programa Genes: aplicativo computacional em genética e estatística: Versão Windows. Viçosa, Ed. UFV. 648p.
- Cruz CD & Carneiro PCS (2003) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético II. Viçosa, Ed. UFV. 585p.
- Cruz CD & Regazzi A (1997) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa, Ed. UFV. 390p.
- Cruz CD, Torres RA, Vencovsky R (1989) An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. *Revista Brasileira de Genética*, 12:567-580.
- Eberhart SA & Russell WA (1966) Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6:36-40.
- Embrapa Trigo (2004). Trigo do Cerrado alcança novo recorde nacional de produtividade. *Viatrigo: Informativo do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo*. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/informativo/viatrigo/viatrigo9.htm#notsea>. Acesso em: 26 set. 2006.
- Josephides CM (1992) Analysis of adaptation of barley, triticale, durum and bread wheat under Mediterranean conditions. *Euphytica*, 65:1-8.
- Lúcio AD, Storck L, Banzatto DA (1999) Classificação dos experimentos de competição de cultivares quanto a sua precisão. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, 5:99-103.
- Oliveira AB, Duarte JB, Pinheiro JB (2003) Emprego da análise AMMI na avaliação da estabilidade produtiva em soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38:357-364.
- Oliveira GV, Carneiro PCS, Carneiro JES, Cruz CD (2006) Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão comum em Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41:257-265.
- Souza MA & Ramalho MAP (2001) Controle genético e tolerância ao estresse de calor em populações híbridas e em cultivares de trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36:1245-1253.
- Verma MM, Chahal GS, Murty BR (1978) Limitations of conventional regression analysis; a proposed modification. *Theoretical and Applied Genetics*, 53:89-91.