

Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão comum em Minas Gerais

Glauco Vieira Oliveira⁽¹⁾, Pedro Crescêncio Souza Carneiro⁽¹⁾, José Eustáquio de Souza Carneiro⁽²⁾ e Cosme Damião Cruz⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidade Federal de Viçosa (UFV), Dep. de Biologia Geral, CEP 36571-000 Viçosa, MG. E-mail: glaucovieira@vicosa.ufv.br, carneiro@ufv.br, cdcruz @ufv.br ⁽²⁾UFV, Dep. de Fitotecnia. E-mail: jesc@ufv.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi investigar a eficiência de diferentes métodos, para a obtenção de estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de 20 linhagens de feijão, em dois ensaios de valor de cultivo e uso, um com linhagens de feijão do grupo preto e outro do grupo carioca, conduzidos nas três safras tradicionais, em seis municípios do Estado de Minas Gerais, perfazendo 14 ambientes, nos anos de 2002 e 2003. Na recomendação dessas linhagens destacou-se o método de Carneiro, em razão da unicidade da medida de adaptabilidade e estabilidade de comportamento, que englobou os conceitos de adaptação, adaptabilidade e estabilidade, indicando as linhagens Ouro Negro e Vi 5700 (grupo preto) e OP-NS-331, Vi 4899 e Vi 0669 (grupo carioca) como de adaptabilidade geral. As linhagens Valente e VP1, do grupo preto, e OP-S-82, VC2 e OP-S-16, do grupo carioca, apresentaram adaptabilidade específica às condições favoráveis. Nas condições desfavoráveis, destacaram-se as linhagens Vi 5500 e VP5, do grupo preto, e VC4, VC5 e Vi 4599, do grupo carioca.

Termos para Indexação: *Phaseolus vulgaris*, recomendação de cultivares, produtividade.

Adaptability and stability of common bean in Minas Gerais State, Brazil

Abstract – The objective of this work was to investigate the efficiency of different methods, to estimate adaptability and stability parameters of 20 lines of common beans, in two studies of cultivation value and use. Each study, using common bean lines of preto and carioca groups, was carried out in the three traditional harvests, in six cities of Minas Gerais State, during 2002 and 2003. Methodology of Carneiro was more suitable due to the measure of behavioral adaptability and stability, which combined adaptation, adaptability and stability concepts in just one index. The lines Ouro Negro and Vi 5700, of preto group, and OP-NS-331, Vi 4899 and Vi 0669 of carioca group, presented general adaptability. The lines Valente and VP1, of preto group, and OP-S-82, VC2 and OP-S-16, of carioca group, presented specific adaptability to favorable conditions. The lines Vi 5500 and VP5, of preto group, and VC4, VC5 and VI 4599, of carioca group, presented better performance in unfavorable conditions.

Index terms: *Phaseolus vulgaris*, cultivar recommendation, yield.

Introdução

Nos últimos cinco anos, o Brasil tem ocupado o primeiro lugar na produção e no consumo do feijão, *Phaseolus vulgaris* (FAO, 2004). Esse grão, além de se constituir em um dos alimentos básicos da população brasileira, é uma das principais fontes de proteína, na dieta alimentar dos estratos sociais economicamente menos favorecidos (Borém & Carneiro, 1998).

Segundo Carneiro (2002), no Brasil, o feijoeiro é cultivado em praticamente todos os Estados, nas mais variadas condições edafo-climáticas e em diferentes épocas e sistemas de cultivo. Portanto, é evidente a grande dificuldade para se realizar, com sucesso, o

melhoramento do feijoeiro, pois o melhorista tem um desafio muito maior do que em regiões temperadas, já que, nas condições tropicais a instabilidade climática e a heterogeneidade dos solos são maiores, o que exige que as cultivares recomendadas aos agricultores contemplem, além da alta produtividade de grãos, maior estabilidade.

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 nas variações ambientais. 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 responsivas às variações ambientais, seja em condições específicas ou amplas (Cruz & Regazzi, 2001).

Atualmente, há mais de uma dezena de metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade, destinadas à avaliação de um grupo de material genético. Dentre as metodologias 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. O pequeno número de parâmetros estimados e sua fácil interpretação são fatores de grande relevância para os melhoristas. Além disso, vários estudos têm evidenciado que a maioria das linhagens avaliadas nos programas de melhoramento de feijão apresenta comportamento linear, o que proporciona coeficiente de determinação superior a 80% (Piana et al., 1999). Entretanto, alguns genótipos elites de feijão têm apresentado respostas lineares insatisfatórias, pela metodologia de Eberhart & Russell (1966), e outros trabalhos têm apresentado genótipos de feijão com comportamento diferenciado, utilizando a metodologia de Cruz et al. (1989), em condições favoráveis e desfavoráveis de ambiente (Ramalho et al., 1993; Carbonell & Pompeu, 2000; Carbonell et al., 2001), sendo necessárias outras formas de avaliação do comportamento de potenciais linhagens de feijoeiro.

Entre os métodos não paramétricos utilizados para estudo de adaptabilidade e estabilidade de cultivares, a metodologia do trapézio quadrático ponderado pelo CV, de Cruz & Carneiro (2003), 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), que 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.

O objetivo deste trabalho foi investigar a eficiência de diferentes métodos, para a obtenção de estimativas

dos parâmetros adaptabilidade e estabilidade de 20 linhagens de feijão, avaliadas em dois ensaios de valor de cultivo e uso (VCU), no Estado de Minas Gerais.

Material e Métodos

Foram utilizados dados de dois ensaios de VCU de feijão, um do grupo preto e outro do grupo carioca. Os experimentos foram conduzidos em Viçosa (período de águas/2002, período de seca/2002 e inverno/2002 e 2003), Ponte Nova (período de seca/2002 e inverno/2002 e 2003) e Coimbra (período de águas/2002, período de seca/2002 e inverno/2002 e 2003), municípios da Zona da Mata de Minas Gerais. Além desses, foram utilizados experimentos de Leopoldina (inverno/2002), Florestal (período de seca/2003) e Capinópolis (inverno/2003), perfazendo um total de 14 ambientes. Os experimentos foram instalados, segundo a exigência mínima estabelecida para o ensaio de VCU de feijão, conforme a Portaria nº 294, de 14 de outubro de 1998, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que consiste no delineamento em blocos casualizados, com três repetições e parcelas de quatro fileiras de 4 m de comprimento. Os dados referentes à produtividade foram obtidos, desconsiderando-se as duas linhas laterais (bordadura). Cada experimento foi composto de 20 linhagens do grupo carioca ou preto, com duas testemunhas por grupo (cultivares recomendadas para o Estado de Minas Gerais). As linhagens constituintes de cada ensaio de VCU, bem como suas instituições de origem, são apresentadas na Tabela 1. Não foi realizado controle de doenças, e as pragas foram controladas sempre que necessário.

Os dados de cada experimento foram submetidos à análise de variância individual e, posteriormente, foi realizada a análise conjunta dos experimentos, envolvendo aqueles de coeficiente de variação residual inferior a 20%, conforme normas do VCU de feijão. O efeito de genótipos foi considerado fixo e os demais (repetição, experimento e interação genótipos por experimentos), aleatórios. Para as estimativas dos parâmetros adaptabilidade e estabilidade, da produtividade de grãos das linhagens, foram utilizados os métodos de Eberhart & Russell (1966), Cruz et al. (1989) e 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 δ_{ij}^2 , conforme o seguinte modelo:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{li}I_j + \delta_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

em que: Y_{ij} é a média de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) do genótipo i , no ambiente j ; β_{0i} é a média geral; β_{li} 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 $I_j = \frac{1}{g} \sum_i Y_{ij} - \frac{1}{ag} Y$, para g linhagens 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_{li} , e a resposta aos ambientes favoráveis por $\hat{\beta}_{li} + \hat{\beta}_{2i}$. A estabilidade dos genótipos é avaliada pelos desvios da regressão (δ_{ij}^2) de cada genótipo, em função das variações ambientais. Nesse método, adota-se o seguinte modelo:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{li}I_j + \beta_{2i}T(I_j) + \delta_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

em que Y_{ij} , β_{0i} , I_j e $\bar{\epsilon}_{ij}$ são as variáveis definidas anteriormente; e

$$T(I_j) = \begin{cases} = 0, & \text{se } I_j < 0 \\ = I_j - \bar{I}_+, & \text{se } I_j > 0 \end{cases}$$

em que \bar{I}_+ é a média dos índices I_j positivos.

Tabela 1. Linhagens de feijão utilizadas no ensaio de valor de cultivo e uso, grupos preto e carioca.

| Grupo preto | | Grupo carioca | |
|---------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|
| Linhagem | Origem | Linhagem | Origem |
| VP1 | UFV | VC1 | UFV |
| VP2 | UFV | VC2 | UFV |
| VP3 | UFV | VC3 | UFV |
| VP4 | UFV | VC4 | UFV |
| VP5 | UFV | VC5 | UFV |
| VP6 | UFV | Vi 0669 | UFV |
| VP7 | UFV | Vi 4899 | UFV |
| VP8 | UFV | Vi 4599 | UFV |
| VP9 | UFV | OP-S-30 | UFLA |
| VP10 | UFV | OP-S-82 | UFLA |
| VP11 | UFV | OP-NS-331 | UFLA |
| VP12 | UFV | OP-S-16 | UFLA |
| VP13 | UFV | OP-S-193 | UFLA |
| Vi 5700 | UFV | AN-LAV-51 | UFLA |
| Vi 5500 | UFV | CIII-R-3-19 | UFLA |
| Vi 7800 | UFV | CIII-H-4-12 | UFLA |
| CNFP 9346 | Embrapa ⁽¹⁾ | CNFC 9437 | Embrapa ⁽¹⁾ |
| CNFP 7988 | Embrapa ⁽¹⁾ | CNFE 8017 | Embrapa ⁽¹⁾ |
| Ouro Negro ⁽²⁾ | Honduras | Talismã ⁽²⁾ | Convênio-MG ⁽³⁾ |
| Valente ⁽²⁾ | Embrapa ⁽¹⁾ | Pérola ⁽²⁾ | Embrapa ⁽¹⁾ |

⁽¹⁾Embrapa Arroz e Feijão. ⁽²⁾Testemunha. ⁽³⁾Embrapa Arroz e Feijão/UFV/Ufla/Epamig.

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:

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

em que P_i é a estimativa da estatística MAEC do genótipo i ; 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 $f = CV_j/CV_T$, 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, linhagens 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.

A estimação dos parâmetros e os testes de significância foram realizados pelo Programa GENES (Cruz, 2001).

Resultados e Discussão

Nos ensaios de VCU de feijão do grupo preto e do grupo carioca, o efeito de genótipos (linhagens) foi significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, nos ambientes avaliados, exceto em Capinópolis, no inverno de 2003, e Ponte Nova, na safra da seca de 2003 (Tabela 2). Os experimentos da safra das águas apresentaram coeficiente de variação (CV) acima de 20%, o que evidencia a dificuldade de condução de experimentos de feijão, nessa safra particular, em virtude da concentração das chuvas, na ocasião da colheita, que contribuiu para a perda da maioria desses experimentos, ou reduziu muito a precisão deles. Os experimentos das demais safras, no entanto, apresentaram boa precisão experimental, com CV abaixo de 20%, que é o limite postulado pela Portaria nº 294 (Lei de Proteção de

Cultivares). A razão entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo foi inferior a sete que, segundo Pimentel-Gomes (1985), possibilita a análise conjunta dos dados (Tabela 3). Nessa análise, todas as fontes de variação apresentaram efeitos significativos.

Entre as linhagens do grupo preto que apresentaram coeficiente de regressão menor que a unidade, segundo o método de Eberhart & Russell (1966) (Tabela 4), destacou-se a linhagem VP5, cuja produtividade (2.555 kg ha^{-1}) superou a média geral do ensaio (2.389 kg ha^{-1}) (Tabela 3), sendo, portanto, de adaptação específica às condições desfavoráveis. Comportamento semelhante foi observado na linhagem VC4, no ensaio de VCU de feijão do grupo carioca (Tabela 4).

Quanto aos genótipos mais responsivos à melhoria das condições ambientais destacaram-se a linhagem VP1 e a cultivar testemunha Valente, para o grupo preto, e as linhagens VC2 e VC3, do grupo carioca, por seus coeficientes de regressão serem significativamente maiores que a unidade ($\beta_1 > 1$). A maioria dos genótipos, no entanto, apresentou ampla adaptabilidade, pois seus coeficientes de regressão não apresentaram diferença significativa da unidade ($\beta_{1i} = 1$). Entre eles, destacaram-se as linhagens Ouro Negro, Vi 5700 e Vi 5500VP3, do grupo preto, e Vi 4899, OP-NS-331, OP-S-82, Vi 0669, Vi 4599, CIII-R-3-19, VC5, OP-S-16 e OP-S-30, do grupo carioca.

Quanto à estabilidade de comportamento, dada pela estimativa dos desvios da regressão ($\hat{\sigma}_{di}^2$), pôde-se observar que, dentre as linhagens acima destacadas, apenas as linhagens VP4, Vi 5700, VC4, Vi 4599, OP-S-82 e OP-NS-331 apresentaram desvios de regressão não significativos e, portanto, consideradas de alta estabilidade, ou seja, de alta previsibilidade de comportamento. Entretanto, as linhagens VP3, VP6, Vi 5700, Vi 5500 e Ouro Negro, do grupo preto, e VC5, Vi 0669, Vi 4899, OP-S-30, OP-S-16 e CIII-R-3-19, do grupo carioca, com desvios de regressão significativos, apresentaram previsibilidade tolerável, pois seus coeficientes de determinação (R^2) foram superiores a 80%, o que, segundo Cruz & Regazzi (2001), é uma 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 proposto por Cruz et al. (1989), não foi encontrado entre os analisados neste estudo. Todavia, sob condições ambientais particularizadas (favoráveis ou desfavoráveis), observou-se que algumas linhagens apresentaram comportamento satisfatório em uma ou em outra condição (Tabela 5). A linhagem VC3 apresentou coeficiente de regressão ($\beta_1 + \beta_2$) igual a 1,54 no método de Cruz et al. (1989), estatisticamente

Tabela 2. Resumo das análises de variância individuais, referentes aos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) de feijão dos grupos preto e carioca, conduzidos em Minas Gerais, em diferentes safras, nos anos de 2002 e 2003.

| Safr | Local | VCU grupo preto | | | VCU grupo carioca | | |
|------------------------|-------------|--------------------------|--|-----------|--------------------------|--|--------|
| | | QM genótipos | Produtividade (kg ha^{-1}) | CV (%) | QM genótipos | Produtividade (kg ha^{-1}) | CV (%) |
| Águas ⁽¹⁾ | Viçosa | 330.996,78** | 880 | 32 | 167.853,25** | 1.057 | 25 |
| | Coimbra | 171.378,34** | 991 | 26 | - | - | - |
| Inverno ⁽¹⁾ | Viçosa | 236.474,58** | 1.647 | 12 | 308.592,25** | 2.034 | 14 |
| | Coimbra | 358.596,73** | 2.578 | 8 | 566.173,96** | 2.552 | 11 |
| | Ponte Nova | 232.520,89** | 2.520 | 12 | 350.526,66** | 2.246 | 10 |
| | Leopoldina | 162.334,56** | 2.004 | 10 | 318.741,68** | 1.926 | 17 |
| Seca ⁽²⁾ | Viçosa | 237.500,55** | 3.098 | 10 | 420.589,90** | 2.846 | 11 |
| | Coimbra | 327.314,57** | 2.145 | 14 | 406.117,70** | 2.327 | 17 |
| | Ponte Nova | 193.303,13 ^{ns} | 2.767 | 14 | 305.689,58 ^{ns} | 3.130 | 15 |
| | Florestal | 665.533,63** | 1.607 | 17 | 277.756,50** | 1.711 | 18 |
| Inverno ⁽²⁾ | Viçosa | 395.164,82** | 1.436 | 20 | 591.615,57** | 1.487 | 19 |
| | Coimbra | 302.560,14** | 3.665 | 6 | 281.418,85** | 3.824 | 8 |
| | Ponte Nova | 241.482,12** | 2.599 | 11 | 203.427,73** | 3.168 | 10 |
| | Capinópolis | 204.997,77* | 2.602 | 11 | 102.109,57 ^{ns} | 2.989 | 9 |

^{ns}Não-significativo. ** e *Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ⁽¹⁾Ano de 2002. ⁽²⁾Ano de 2003.

superior à unidade, e de magnitude superior ao coeficiente de regressão estimado por Eberhart & Russell (1966) (1,18). Esse resultado evidencia ser o método de Cruz et al. (1989) mais refinado na recomendação de

Tabela 3. Resumo da análise de variância conjunta, dos 20 genótipos de feijão, dos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) de feijão dos grupos preto e carioca, avaliados em 12 ambientes no Estado de Minas Gerais.

| Fonte de variação | GL | Quadrado médio | |
|---------------------|-----|-----------------|-------------------|
| | | VCU grupo preto | VCU grupo carioca |
| Blocos/ambientes | 24 | 427.258,22 | 582.015,06 |
| Ambientes (A) | 11 | 25.596.941,77* | 28.596.474,80* |
| Genótipos (G) | 19 | 1.019.567,41* | 1.052.309,12* |
| GxA | 209 | 230.746,91** | 280.040,99** |
| Resíduo | 456 | 77.373,15 | 103.726,12 |
| Total | 719 | | |
| Média | | 2.389,46 | 2.520,57 |
| CV (%) | | 11,64 | 12,78 |
| Maior QMR/menor QMR | | 4,28 | 4,69 |

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

cultivares, para condições específicas de ambientes, favoráveis, desfavoráveis ou ambas, comparado ao método de Eberhart & Russell (1966). Isto também é confirmado pelo comportamento de outras linhagens, como é o caso da OP-S-16 (Tabela 4), de adaptabilidade geral por Eberhart & Russell (1966) e comportamento contrário por Cruz et al. (1989), sensível às condições desfavoráveis de ambiente ($\beta_1 > 1$) e não responsiva à melhoria das condições ambientais ($\beta_1 + \beta_2 < 1$), conforme apresentado na Figura 1.

Embora nenhuma das linhagens avaliadas tenha apresentado comportamento ideal, surge a necessidade de se determinar quais se aproximam mais do ideótipo, em cada condição ambiental. Entretanto, é bastante difícil, em razão dos vários parâmetros (β_0 , β_1 , $\beta_1 + \beta_2$, $\hat{\sigma}_{di}^2$ e R^2) considerados pela metodologia de Cruz et al. (1989), se alcançar uma recomendação mais refinada para cada uma dessas condições ambientais. Para contornar esses problemas, Carneiro (1998) apresentou

Tabela 4. Estimativa da produtividade média de grãos (β_{0i}) em kg ha⁻¹, dos coeficientes de regressão (β_{1i}) e de determinação (R^2), segundo a metodologia de Eberhart e Russell (1966), de 20 linhagens de feijão dos grupos preto e carioca, avaliadas em 12 ambientes no Estado de Minas Gerais⁽¹⁾.

| Grupo preto | | | | | Grupo carioca | | | | |
|-------------|------------------------|--------------------|--|-----------|---------------|------------------------|--------------------|--|-----------|
| Linhagem | ($\hat{\beta}_{0i}$) | $\hat{\beta}_{1i}$ | $\hat{\sigma}_{di}^2$ (10 ³) | R^2 (%) | Linhagem | ($\hat{\beta}_{0i}$) | $\hat{\beta}_{1i}$ | $\hat{\sigma}_{di}^2$ (10 ³) | R^2 (%) |
| VP1 | 2.421 | 1,32** | 95,31** | 87 | VC1 | 2.210 | 1,21** | 85,56** | 86 |
| VP2 | 2.304 | 0,91 ^{ns} | 16,03 ^{ns} | 90 | VC2 | 2.592 | 1,18* | 108,87** | 84 |
| VP3 | 2.516 | 0,94 ^{ns} | 121,56** | 74 | VC3 | 2.612 | 1,18* | 99,64** | 84 |
| VP4 | 2.295 | 0,76** | 16,11 ^{ns} | 87 | VC4 | 2.777 | 0,77** | 28,97 ^{ns} | 83 |
| VP5 | 2.555 | 0,82* | 61,89** | 78 | VC5 | 2.593 | 0,91 ^{ns} | 50,84** | 84 |
| VP6 | 2.362 | 1,02 ^{ns} | 55,08** | 86 | Vi 0669 | 2.645 | 0,86 ^{ns} | 68,59** | 79 |
| VP7 | 2.366 | 0,74** | 86,08** | 70 | Vi 4899 | 2.734 | 0,94 ^{ns} | 56,56** | 84 |
| VP8 | 2.384 | 0,99 ^{ns} | -5,65 ^{ns} | 96 | Vi 4599 | 2.612 | 0,86 ^{ns} | 1,96 ^{ns} | 92 |
| VP9 | 2.320 | 1,00 ^{ns} | 97,90** | 79 | OP-S-30 | 2.526 | 1,13 ^{ns} | 52,79** | 88 |
| VP10 | 2.195 | 0,93 ^{ns} | -6,85 ^{ns} | 95 | OP-S-82 | 2.681 | 1,08 ^{ns} | 28,05 ^{ns} | 91 |
| VP11 | 2.345 | 1,01 ^{ns} | 10,65 ^{ns} | 93 | OP-NS-331 | 2.706 | 0,87 ^{ns} | 17,89 ^{ns} | 88 |
| VP12 | 2.245 | 1,04 ^{ns} | 21,07 ^{ns} | 92 | OP-S-16 | 2.537 | 1,05 ^{ns} | 102,34** | 81 |
| VP13 | 2.326 | 1,02 ^{ns} | -12,06 ^{ns} | 97 | OP-S-193 | 2.479 | 0,96 ^{ns} | 32,17* | 88 |
| Vi 5700 | 2.656 | 1,02 ^{ns} | 7,71 ^{ns} | 94 | AN-LAV -51 | 2.240 | 1,24** | 15,42 ^{ns} | 94 |
| Vi 5500 | 2.626 | 0,94 ^{ns} | 47,24** | 85 | CIII-R-3-19 | 2.607 | 1,00 ^{ns} | 108,94** | 79 |
| Vi 7800 | 2.334 | 0,79** | 10,64 ^{ns} | 89 | CIII-H-4-12 | 2.463 | 1,03 ^{ns} | 6,46 ^{ns} | 93 |
| CNFP 9346 | 2.282 | 1,01 ^{ns} | 56,05** | 86 | CNFC 9437 | 2.223 | 0,94 ^{ns} | 35,51* | 87 |
| CNFP 7988 | 2.036 | 1,17* | 55,26** | 89 | CNFE 8017 | 2.438 | 0,97 ^{ns} | 69,53** | 83 |
| Ouro Negro | 2.759 | 1,08 ^{ns} | 55,78** | 87 | Talismã | 2.430 | 1,03 ^{ns} | 33,82* | 89 |
| Valente | 2.451 | 1,39** | 56,15** | 92 | Pérola | 2.296 | 0,77** | 64,83** | 76 |

⁽¹⁾Correlação entre β_{0i} e β_{1i} : 0,02; correlação entre β_{0i} e β_{1i} : -0,34. ^{ns}Não-significativo. * e **Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 5. Estimativas das médias de produtividade de grãos, em kg ha⁻¹, dos coeficientes (β_1 e $\beta_1 + \beta_2$), desvios de regressão (σ_{di}^2) e coeficientes de determinação (R^2), para as linhagens de feijão, nos ensaios de valor de cultivo e uso de feijão dos grupos preto e carioca, em Minas Gerais, segundo a metodologia de Cruz et al. (1989).

| Linhagem | Grupo preto | | | | | Grupo carioca | | | | | |
|------------|-----------------|--------------------|---------------------------------|--|--------------------|---------------|-----------------|--------------------|---------------------------------|--|--------------------|
| | $\hat{\beta}_0$ | $\hat{\beta}_1$ | $\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2$ | $\hat{\sigma}_{di}^2$ (10 ³) | R ² (%) | Linhagem | $\hat{\beta}_0$ | $\hat{\beta}_1$ | $\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2$ | $\hat{\sigma}_{di}^2$ (10 ³) | R ² (%) |
| VP1 | 2.421 | 1,41 ^{**} | 1,03 ^{ns} | 364,47 ^{**} | 88 | VC1 | 2.210 | 1,17 ^{ns} | 1,41 [*] | 387,14 ^{**} | 87 |
| VP2 | 2.304 | 0,95 ^{ns} | 0,80 ^{ns} | 135,92 ^{ns} | 91 | VC2 | 2.592 | 1,14 ^{ns} | 1,37 ^{ns} | 464,45 ^{**} | 84 |
| VP3 | 2.516 | 0,92 ^{ns} | 1,04 ^{ns} | 486,46 ^{**} | 74 | VC3 | 2.612 | 1,10 ^{ns} | 1,54 ^{**} | 397,46 ^{**} | 86 |
| VP4 | 2.295 | 0,79 [*] | 0,68 [*] | 138,98 ^{ns} | 87 | VC4 | 2.777 | 0,80 [*] | 0,63 ^{ns} | 202,33 [*] | 84 |
| VP5 | 2.555 | 0,87 ^{ns} | 0,63 [*] | 276,53 ^{**} | 80 | VC5 | 2.593 | 0,91 ^{ns} | 0,89 ^{ns} | 282,24 ^{**} | 84 |
| VP6 | 2.362 | 1,06 ^{ns} | 0,88 ^{ns} | 259,43 ^{**} | 86 | Vi 0669 | 2.645 | 0,90 ^{ns} | 0,67 ^{ns} | 329,58 ^{**} | 80 |
| VP7 | 2.366 | 0,65 ^{**} | 1,06 ^{ns} | 331,76 ^{**} | 73 | Vi 4899 | 2.734 | 1,00 ^{ns} | 0,68 ^{ns} | 277,37 ^{**} | 85 |
| VP8 | 2.384 | 1,02 ^{ns} | 0,90 ^{ns} | 62,34 ^{ns} | 96 | Vi 4599 | 2.612 | 0,85 ^{ns} | 0,92 ^{ns} | 117,12 ^{ns} | 92 |
| VP9 | 2.320 | 0,95 ^{ns} | 1,19 ^{ns} | 396,19 ^{**} | 80 | OP-S-30 | 2.526 | 1,11 ^{ns} | 1,18 ^{ns} | 290,23 ^{**} | 88 |
| VP10 | 2.195 | 0,89 ^{ns} | 1,10 ^{ns} | 53,01 ^{ns} | 96 | OP-S-82 | 2.681 | 1,05 ^{ns} | 1,23 ^{ns} | 202,37 [*] | 91 |
| VP11 | 2.345 | 0,94 ^{ns} | 1,29 ^{ns} | 88,76 ^{ns} | 95 | OP-NS-331 | 2.706 | 0,92 ^{ns} | 0,61 [*] | 150,63 ^{ns} | 90 |
| VP12 | 2.245 | 0,97 ^{ns} | 1,29 ^{ns} | 129,08 ^{ns} | 93 | OP-S-16 | 2.537 | 1,18 [*] | 0,43 ^{**} | 317,35 ^{**} | 87 |
| VP13 | 2.326 | 0,99 ^{ns} | 1,14 ^{ns} | 36,46 ^{ns} | 98 | OP-S-193 | 2.479 | 0,95 ^{ns} | 1,05 ^{ns} | 221,38 [*] | 88 |
| Vi 5700 | 2.656 | 1,05 ^{ns} | 0,94 ^{ns} | 106,85 ^{ns} | 94 | AN-LAV-51 | 2.240 | 1,22 [*] | 1,34 ^{ns} | 163,56 ^{ns} | 94 |
| Vi 5500 | 2.626 | 0,96 ^{ns} | 0,87 ^{ns} | 241,16 ^{**} | 85 | CIIL-R-3-19 | 2.607 | 0,93 ^{ns} | 1,37 ^{ns} | 426,73 ^{**} | 81 |
| Vi 7800 | 2.334 | 0,82 [*] | 0,71 ^{ns} | 117,00 ^{ns} | 89 | CIIL-H-4-12 | 2.463 | 1,07 ^{ns} | 0,81 ^{ns} | 121,97 ^{ns} | 94 |
| CNFP 9346 | 2.282 | 0,99 ^{ns} | 1,10 ^{ns} | 271,28 ^{**} | 86 | CNFC 9437 | 2.223 | 0,93 ^{ns} | 1,03 ^{ns} | 229,70 [*] | 87 |
| CNFP 7988 | 2.036 | 1,25 ^{**} | 0,90 ^{ns} | 237,02 ^{**} | 90 | CNFE 8017 | 2.438 | 1,05 ^{ns} | 0,58 [*] | 290,44 ^{**} | 86 |
| Ouro Negro | 2.759 | 1,10 ^{ns} | 1,06 ^{ns} | 272,65 ^{**} | 87 | Talismã | 2.430 | 1,00 ^{ns} | 1,14 ^{ns} | 222,58 [*] | 89 |
| Valente | 2.451 | 1,40 ^{**} | 1,39 [*] | 274,82 ^{**} | 92 | Pérola | 2.296 | 0,70 [*] | 1,12 ^{ns} | 285,00 ^{**} | 79 |

^{ns}Não-significativo. * e **Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

algumas metodologias não paramétricas, 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.

As cinco linhagens do grupo preto que mais se aproximaram do ideótipo para as condições desfavoráveis, pelo método de Carneiro (1998), foram Ouro Negro, Vi 5700, Vi 5500, VP5 e VP3 (Tabela 6). Verifica-se que a recomendação é imediata, em razão da unicidade do parâmetro MAEC, dado pelas estimativas de P_i . Da mesma forma, para as linhagens do grupo carioca, destacam-se VC4, OP-NS-331, Vi 4899, OP-S-82 e VC5 (Tabela 6). Para as condições favoráveis, as cinco que mais se aproximaram do ideótipo foram Ouro Negro, Valente, Vi 5700, VP1 e Vi 5500, do grupo preto, e OP-S-82, Vi 4899, OP-NS-331, VC2 e OP-S-16, do grupo carioca (Tabela 6). Para recomendação geral, destacam-se as linhagens Ouro Negro, Vi 5700, Vi 5500, Valente e VP4, do grupo preto e VC4, OP-NS-331, Vi 4899, OP-S-82 e Vi 0699C, do grupo carioca (Tabela 6).

Observa-se que algumas linhagens, como a cultivar Ouro Negro, apresentaram valores de P_i de magnitude semelhante, tanto para ambiente geral quanto favorável ou desfavorável, enquanto outras apresentaram comportamento diferente, com valores de P_i específicos, seja para condições favoráveis ou desfavoráveis. Esse comportamento era esperado, pois, nesse método, o

genótipo ideal para ambiente geral, ou seja, aquele de comportamento ideal tanto nas condições favoráveis quanto desfavoráveis, foi definido segundo o conceito de Verma et al. (1978) e o modelo de Cruz et al. (1989), 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. Assim, genótipos de adaptabilidade geral obterão valores de P_i semelhantes e de pequena magnitude, nas três condições (favorável, desfavorável e ambas, dadas pelo ambiente geral). Os genótipos de adaptabilidade específica, para condições favoráveis ou desfavoráveis, apresentarão valores de P_i de pequena magnitude, apenas nessas condições.

Desse modo, verificou-se que Ouro Negro e Vi 5700 apresentaram adaptabilidade geral, com valores de P_i semelhantes nas três condições (Tabela 6). Na prática, esse é o comportamento verificado para a cultivar Ouro Negro, uma vez que é plantada de forma generalizada pelos agricultores que cultivam feijão preto. Para as condições específicas, destacam-se as linhagens Valente e VP1 para as condições favoráveis, e Vi 5500 e VP5 para as condições desfavoráveis.

A utilização do método de Carneiro (1998), no estudo da adaptabilidade e estabilidade, permitiu uma recomendação imediata das cultivares em avaliação, em razão da unicidade do parâmetro MAEC e, ainda, uma avaliação do comportamento de cada cultivar, ou seja, de sua resposta em função da variação ambiental. Assim, para as condições favoráveis, deve-se preferir a cultivar Valente em relação à Ouro Negro.

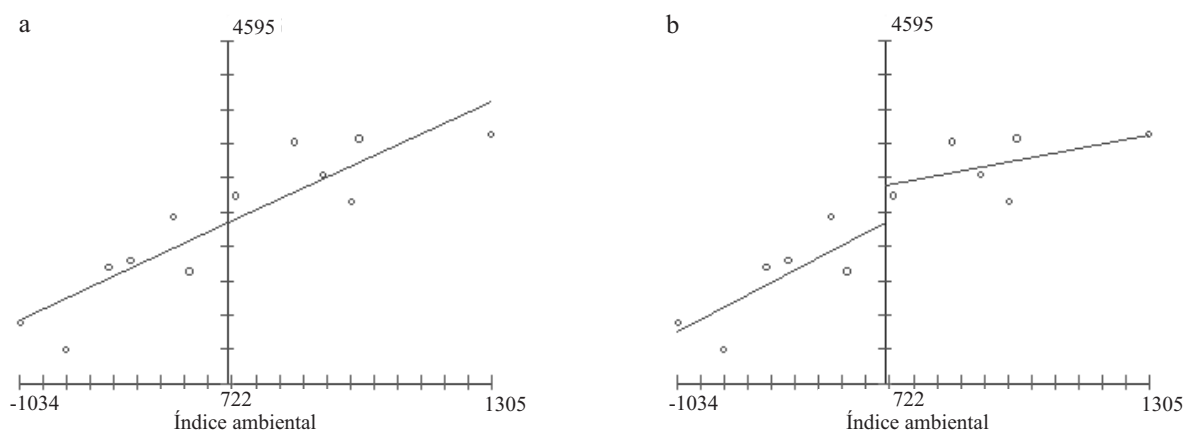


Figura 1. Comportamento fenotípico da linhagem OP-S-16, pelos métodos de Eberhart & Russell (1966) (a) e Cruz et al. (1989) (b).

Tabela 6. Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) e estimativas de estabilidade (Pi_g), pela metodologia do trapézio quadrático ponderado pelo CV, segundo Carneiro (1998), para as 20 linhagens de feijão dos grupos preto e carioca, avaliadas em 12 ambientes, no Estado de Minas Gerais, a partir da decomposição em ambientes favoráveis (Pi_f), desfavoráveis (Pi_d) e suas classificações (Class.).

| Linhagem | Média geral | Pi _g (10 ⁶) | Class. | Pi _f (10 ⁶) | Class. | Pi _d (10 ⁶) | Class. | Linhagem | Média geral | Pi _g (10 ⁶) | Class. | Pi _f (10 ⁶) | Class. | Pi _d (10 ⁶) | Class. |
|------------|----------------|---------------------------------------|--------|---------------------------------------|--------|---------------------------------------|--------|-------------|----------------|---------------------------------------|--------|---------------------------------------|--------|---------------------------------------|--------|
| VP1 | 2.421 | 855 | 7 | 395 | 4 | 460 | 18 | VC1 | 2.210 | 1.371 | 19 | 694 | 18 | 677 | 20 |
| VP2 | 2.304 | 980 | 16 | 526 | 15 | 453 | 17 | VC2 | 2.592 | 967 | 7 | 491 | 4 | 475 | 10 |
| VP3 | 2.516 | 836 | 6 | 481 | 8 | 355 | 5 | VC3 | 2.612 | 976 | 8 | 515 | 7 | 461 | 9 |
| VP4 | 2.295 | 1.061 | 19 | 641 | 20 | 420 | 11 | VC4 | 2.777 | 843 | 1 | 500 | 6 | 343 | 1 |
| VP5 | 2.555 | 810 | 5 | 459 | 6 | 350 | 4 | VC5 | 2.593 | 1.009 | 11 | 582 | 13 | 427 | 5 |
| VP6 | 2.362 | 944 | 12 | 496 | 12 | 447 | 16 | Vi 0669 | 2.645 | 944 | 5 | 516 | 8 | 427 | 6 |
| VP7 | 2.366 | 960 | 14 | 560 | 16 | 400 | 7 | Vi 4899 | 2.734 | 879 | 3 | 465 | 2 | 413 | 3 |
| VP8 | 2.384 | 879 | 9 | 487 | 10 | 391 | 6 | Vi 4599 | 2.612 | 986 | 9 | 548 | 11 | 438 | 8 |
| VP9 | 2.320 | 871 | 8 | 469 | 7 | 401 | 8 | OP-S-30 | 2.526 | 1.051 | 12 | 527 | 9 | 523 | 16 |
| VP10 | 2.195 | 1.044 | 18 | 597 | 18 | 446 | 15 | OP-S-82 | 2.681 | 882 | 4 | 461 | 1 | 420 | 4 |
| VP11 | 2.345 | 908 | 10 | 501 | 13 | 406 | 10 | OP-NS-331 | 2.706 | 866 | 2 | 480 | 3 | 386 | 2 |
| VP12 | 2.245 | 946 | 13 | 508 | 14 | 437 | 14 | OP-S-16 | 2.537 | 1.002 | 10 | 492 | 5 | 509 | 15 |
| VP13 | 2.326 | 921 | 11 | 490 | 11 | 430 | 13 | OP-S-193 | 2.479 | 1.086 | 14 | 592 | 14 | 493 | 11 |
| Vi 5700 | 2.656 | 708 | 2 | 388 | 3 | 320 | 2 | AN-LAV-51 | 2.240 | 1.325 | 18 | 655 | 17 | 670 | 19 |
| Vi 5500 | 2.626 | 768 | 3 | 434 | 5 | 334 | 3 | CIII-R-3-19 | 2.607 | 958 | 6 | 529 | 10 | 429 | 7 |
| Vi 7800 | 2.334 | 1.019 | 17 | 615 | 19 | 403 | 9 | CIII-H-4-12 | 2.463 | 1.080 | 13 | 580 | 12 | 499 | 13 |
| CNFP 9346 | 2.282 | 972 | 15 | 482 | 9 | 490 | 19 | CNFC 9437 | 2.223 | 1.373 | 20 | 789 | 20 | 583 | 18 |
| CNFP 7988 | 2.036 | 1.123 | 20 | 560 | 17 | 562 | 20 | CNFE 8017 | 2.438 | 1.134 | 15 | 629 | 15 | 505 | 14 |
| Ouro Negro | 2.759 | 651 | 1 | 351 | 1 | 299 | 1 | Talismã | 2.430 | 1.136 | 16 | 641 | 16 | 494 | 12 |
| Valente | 2.451 | 802 | 4 | 372 | 2 | 429 | 12 | Pérola | 2.296 | 1.247 | 17 | 723 | 19 | 523 | 17 |
| Média | 2.389 | | | | | | | Média | 2.520 | | | | | | |

As linhagens recomendadas no ensaio de VCU do grupo carioca são as seguintes: OP-NS-331, Vi 4899 e Vi 0669 de adaptabilidade geral, OP-S-82, VC2 e OP-S-16 de adaptabilidade específica às condições favoráveis, e VC4, VC5 e Vi 4599 para as condições desfavoráveis.

Quanto às testemunhas utilizadas neste ensaio, verificou-se que a cultivar Talismã é de adaptação mais específica às condições desfavoráveis, e a cultivar Pérola é de adaptabilidade geral. Contrariamente ao ensaio de feijão do grupo preto, as linhagens de feijão do grupo carioca foram bastante superiores às respectivas testemunhas. Deve-se, ainda, salientar que as diferenças em relação ao ideótipo são elevadas ao quadrado, apresentando, portanto, propriedade de variância que é traduzida por esse método em estabilidade de comportamento; ademais, nesse método (trapézio quadrático ponderado pelo CV), os ambientes similares têm menor peso, fazendo com que a regressão seja mais representativa do comportamento das cultivares. Verifica-se, assim, a grande utilidade e eficiência desse método na recomendação de cultivares. Resultados similares também foram obtidos por Carbonell et al. (2001).

Conclusões

1. O método de Cruz et al. apresenta maior refinamento para a recomendação das cultivares, para condições específicas de ambientes, favoráveis, desfavoráveis ou ambas, comparado ao método de Eberhart & Russell.

2. O método do trapézio quadrático, proposto por Carneiro, destaca-se para a recomendação de cultivares, em razão da unicidade do parâmetro MAEC (medida de adaptabilidade e estabilidade de comportamento), que engloba os conceitos de adaptação, adaptabilidade e estabilidade.

3. As linhagens Ouro Negro e Vi 5700, de feijão do grupo preto, e OP-NS-331, Vi 4899 e Vi 0669, do grupo carioca, apresentam adaptabilidade geral; as linhagens Valente e VP1, do grupo preto, e OP-S-82, VC2 e OP-S-16, do grupo carioca, são responsivas à melhoria das condições ambientais; entre as linhagens de adaptação específica às condições desfavoráveis,

destacam-se a Vi 5500 e VP5, do grupo preto, e VC4, VC5 e Vi 4599, do grupo carioca.

Referências

- BORÉM, A.; CARNEIRO, J.E. de S. A Cultura. In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T.J.; BORÉM, A. **Feijão: aspectos gerais e cultura** no Estado de Minas Gerais. Viçosa: Editora UFV, 1998. p.13-17.
- CARBONELL, S.A.M.; AZEVEDO FILHO, J.A. de; DIAS, L.A. dos S.; GONÇALVES, C.; ANTONIO, C.B. Adaptabilidade e estabilidade de produção de cultivares e linhagens de feijoeiro no Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.60, p.69-77, 2001.
- CARBONELL, S.A.M.; POMPEU, A.S. Estabilidade fenotípica de linhagens de feijoeiro em três épocas de plantio no Estado de São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.321-329, 2000.
- CARNEIRO, J.E. de S. **Alternativas para obtenção e escolha de populações segregantes no feijoeiro**. 2002. 134p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- CARNEIRO, P.C.S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. 1998. 168p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CRUZ, C.D. **Programa Genes**: aplicativo computacional em genética e estatística: versão Windows. Viçosa: Editora UFV, 2001. 648p.
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Editora UFV, 2003. 579p.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed.rev. Viçosa, Editora UFV, 2001. 390p.
- CRUZ, C.D.; TORRES, R.A. de; VENCOSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, v.12, p.567-580, 1989.
- EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v.6, p.36-40, 1966.
- FAO. **Faostat**. Disponível em: <<http://www.faostat.fao.org/faostat>>. Acesso em: 9 set. 2004.
- PIANA, C.F. de B.; ANTUNES, I.F.; SILVA, J.G.C. da; SILVEIRA, E.P. Adaptabilidade e estabilidade do rendimento de grãos de genótipos de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.553-564, 1999.
- PIMENTEL-GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 11.ed. São Paulo: Nobel, 1985. 466p.
- RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A. de F.B.; RIGHETTO, G.U. Interação de cultivares de feijão por épocas de semeadura em diferentes localidades do Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, p.1183-1189, 1993.
- VERMA, M.M.; CHAHAL, G.S.; MURTY, B.R. Limitations of conventional regression analysis; a proposed modification. **Theoretical and Applied Genetics**, v.53, p.89-91, 1978.