

Metodologias de análise de adaptabilidade e de estabilidade para a identificação de linhagens de feijão promissoras para o cultivo no Rio Grande do Sul

Adaptability and stability methods to identify promising common bean advanced lines for cultivation in Rio Grande do Sul State, Brazil

Lucas da Silva Domingues¹; Nerinéia Dalfollo Ribeiro^{2*};
Cristiano Minetto³; Juarez Fernandes de Souza⁴; Irajá Ferreira Antunes⁵

Resumo

O objetivo do presente estudo foi aplicar diferentes metodologias de avaliação da adaptabilidade e da estabilidade de produção, e comparar a correlação entre essas, visando identificar linhagens avançadas de feijão promissoras para o cultivo no Estado do Rio Grande do Sul. Para tanto, foi realizada a análise dos dados de produtividade de grãos de 17 linhagens de feijão avaliadas nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso Sul-brasileiro, conduzidos durante o biênio 2008 e 2009. As estimativas de adaptabilidade e de estabilidade de produção foram obtidas pelos métodos de Eberhart e Russel, Cruz et al., Lin e Binns modificado por Carneiro e análise dos efeitos principais aditivos e da interação multiplicativa (AMMI). Também foi estimada a associação entre esses métodos por meio da correlação linear de Spearman. As associações entre os métodos apresentaram coeficiente de correlação de Spearman (r_s) entre 0,47 e 0,66 indicando que os métodos não foram concordantes na identificação de linhagens de feijão com adaptabilidade e estabilidade de produção. Os métodos de Cruz et al. e AMMI apresentaram correlação não significativa e devem ser utilizados em conjunto. As linhagens SM 0707, SM 1207 e CHP 98-59 apresentam alta produtividade de grãos e estabilidade de produção, sendo promissoras para o cultivo no Estado do Rio Grande do Sul.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., interação genótipo x ambiente, associação entre métodos, correlação de Spearman

Abstract

The objective of this research was apply adaptability and yield stability methods and to compare association among methods by identify promising common bean advanced lines for cultivation in Rio Grande do Sul State, Brazil. For this, was realized the analyses of grain yield data of the 17 common bean advanced lines from 10 trials of Use and Cultivation Value during the biennium 2008 and 2009. Adaptability and yield stability estimates were obtained by Eberhart e Russel, Cruz et al.,

¹ Prof. Adjunto, Curso de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos. UTFPR, DV. Estrada Boa Esperança, Km 04, Caixa Postal 157, CEP 85.660-000. Dois Vizinhos, PR. E-mail: lucassdomingues@hotmail.com

² Prof. Associado, Deptº de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Av. Roraima, 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, CEP 97105-900. Santa Maria, RS. E-mail: nerineia@hotmail.com

³ Discente do Curso de Agronomia, UFSM, Santa Maria, RS. E-mail: cristianominetto@hotmail.com

⁴ Pesquisador, Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, FEPAGRO, CEP 90130-060. Porto Alegre, RS. E-mail: juarez-souza@fepagro.rs.gov.br

⁵ Pesquisador, EMBRAPA Clima Temperado, Caixa Postal 553, CEP 96001-000. Pelotas, RS. E-mail: iraja@cpact.embrapa.br

* Autor para correspondência

Lin e Binns modified by Carneiro and for effects and multiplicative interaction analyses (AMMI). It was also estimated the association among the methods by evaluating the Spearman linear correlation. The associations among the methods showed Spearman correlation coefficients between 0.47 and 0.66 denote that the methods were not concord in the identify common bean advanced lines with adaptability and yield stability. The Cruz et al. and AMMI methods showed no significant correlation and your use are recommended set. The SM 0707, SM 1207 and CHP 98-59 advanced lines showed high grain yield and yield stability and they are promising for cultivation in Rio Grande do Sul State.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., genotype x environment interaction, association among methods, Spearman correlation

Introdução

No Estado do Rio Grande do Sul, o cultivo de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é realizado em duas épocas de semeadura: safra (setembro a novembro) e safrinha (janeiro a fevereiro). Na safra 2011, a produção estadual foi de 65,3 mil toneladas e, na safrinha 2012, de 28,8 mil toneladas (CONAB, 2012). Mais de 70% dos grãos foram produzidos na agricultura familiar (EMATER, 2012). No Brasil, o feijão é cultivado em distintas épocas de semeadura e em vários sistemas de cultivo. Essa diversidade de ambientes contribui para a ocorrência da interação genótipo x ambiente (G x A). Quando se observa interação G x A significativa realizam-se análises complementares para a identificação de ambientes homogêneos por meio da estratificação de ambientes ou análises de adaptabilidade e de estabilidade de produção para a identificação de linhagens com previsibilidade de desempenho (CRUZ; REGAZZI, 1997). Essas análises são complementares à análise de variância individual e à análise conjunta dos dados experimentais, resultantes de ensaios conduzidos em uma série de ambientes, e são ferramentas estatísticas que proporcionam um estudo detalhado sobre o desempenho das linhagens frente às variações ambientais específicas ou amplas, possibilitando uma indicação de cultivares de maneira mais precisa.

Na literatura há uma série de metodologias descritas com a finalidade de avaliar a adaptabilidade e a estabilidade: baseados em análise de variância, em análise de regressão (linear, bissegmentada linear e não linear), em estatística não-paramétrica e em análise multivariada (CRUZ; REGAZZI, 1997;

DUARTE; VENCOVSKY, 1999). Nos métodos baseados em análise de variância, as estimativas do parâmetro estabilidade são expressas em quadrados médios ou em componentes da variância. Como não se considera a produtividade de grãos e as informações quanto aos ambientes avaliados, esses métodos fornecem estimativas pouco precisas (CRUZ; REGAZZI, 1997). O método de Eberhart e Russell (1966) baseia-se em análise de regressão linear e considera a resposta de cada linhagem às variações do ambiente. Para isso, usa o índice ambiental que serve para avaliar a qualidade dos ambientes e para a classificação em ambientes favoráveis (índices positivos) e desfavoráveis (índices negativos). O método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), por sua vez, é baseado em análise de regressão bissegmentada linear e utiliza uma variável indexadora para avaliar o desempenho das linhagens de forma diferenciada em ambientes favoráveis e desfavoráveis. Já, o método de Lin e Binns (1988) considera a estatística não paramétrica e determina a estabilidade pelo quadrado médio da distância entre a média da linhagem e a resposta média máxima obtida no ambiente. A análise dos efeitos principais aditivos e da interação multiplicativa (AMMI) combina a análise de variância dos efeitos aditivos principais de linhagens e de ambientes com a análise de componentes principais do efeito multiplicativo da interação genótipo x ambiente (ZOBEL; WRIGHT; GAUCH, 1988).

Na cultura do feijão, os métodos de Eberhart e Russell (1966) e de Lin e Binns (1988) têm sido os mais utilizados (BACKES et al., 2005; MELO et al., 2007; RIBEIRO et al., 2008, 2009). O método

de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), também, é empregado (BACKES et al., 2005; PEREIRA et al., 2009), porém com menor representatividade na literatura, provavelmente devido ao maior número de relações que devem ser feitas para se indicar cultivares com comportamento ideal. A análise dos efeitos principais aditivos e da interação multiplicativa (AMMI) tem sido usada para a identificação de cultivares de feijão promissoras para o cultivo em vários Estados (MELO et al., 2007; GONÇALVES et al., 2009; PEREIRA et al., 2009).

Como há diferentes métodos, a escolha deverá ser baseada no número de ambientes disponíveis, na precisão requerida e no tipo de informação desejada (CRUZ; REGAZZI, 1997). Também é preciso considerar que alguns métodos serão alternativos, enquanto que outros serão complementares, podendo ser utilizados conjuntamente (CARGNELUTTI FILHO et al., 2009). Quando os métodos não forem concordantes na identificação de cultivares com estabilidade de produção, a opção por um ou outro método deverá ser baseada na sua eficiência e na facilidade de interpretação dos resultados obtidos. A melhor compreensão sobre as metodologias de estabilidade e da associação entre essas será determinante para a indicação das linhagens de feijão promissoras para o cultivo em determinada região.

Em experimentos de competição de cultivares de feijão conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul se observou interação G x A significativa para a produtividade de grãos (PIANA et al., 1999; RIBEIRO et al., 2008, 2009). Entretanto, a análise de correlação entre métodos de estabilidade não foi encontrada para a cultura do feijão no Rio Grande do Sul. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi aplicar diferentes metodologias de avaliação da adaptabilidade e da estabilidade de produção, bem como comparar a correlação entre essas, no intuito de identificar linhagens avançadas de feijão promissoras para o cultivo no Estado do Rio Grande do Sul.

Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos em duas épocas de cultivo: safra (semeadura em outubro) e safrinha (semeadura em fevereiro), nos anos agrícolas de 2008 e de 2009, nos municípios de Santa Maria (latitude 29°42'S, longitude 53°43'W e 95 m de altitude), com a coordenação da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM); de Maquiné (latitude 29°40'S, longitude 50°12'W e 12 m de altitude) e de Santo Augusto (latitude 27°51'S, longitude 53°46'W e 528 m de altitude), pela Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO); e de Canguçu (latitude 31°23' S, longitude 52°40'W e 386 m de altitude), pela Embrapa Clima Temperado. Esses ambientes integraram o ensaio de Valor de Cultivo e Uso Sul-brasileiro de feijão (VCU-SB) conduzido no Estado do Rio Grande do Sul. Alguns desses experimentos foram perdidos, devido, principalmente, ao grande volume de precipitação pluvial registrado na região durante o desenvolvimento da cultura. Sendo assim, apenas 10 experimentos (ambientes) foram considerados para as análises estatísticas: Santa Maria safrinha 2009, Maquiné safra 2008/2009, Maquiné safrinha 2009, Maquiné safra 2009/2010, Maquiné safrinha 2010, Santo Augusto safra 2008/2009, Santo Augusto safrinha 2009, Santo Augusto safra 2009/2010, Santo Augusto safrinha 2010 e Canguçu safra 2008/2009.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, seguindo os requisitos mínimos para a determinação do Valor de Cultivo e Uso (VCU), para o registro de cultivares de feijão no Registro Nacional de Cultivares – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (RNC/MAPA) (BRASIL, 2006). Cada parcela foi constituída por quatro linhas de 4 m de comprimento, espaçadas 0,5 m, e área útil de 4 m². Os tratamentos consistiram da avaliação de 17 linhagens, sendo 13 linhagens avançadas de diferentes obtentores: SM 0707, SM 1007 e SM 1207 (FEPAGRO); TB 02-20 e TB 02-21 (Embrapa Clima Temperado); CHC 97-29 e CHP 98-59

(Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI); LP 04-03 e LP 04-72 (Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR); GEN C 2-1-1 e GEN C 2-1-3 (Instituto Agronômico de Campinas – IAC); CNFC 10408 e CNFC 10429 (Embrapa Arroz e Feijão); e quatro linhagens comerciais (cultivares testemunhas): BRS Valente, Guapo Brilhante, Pérola e Carioca.

A produtividade de grãos (kg ha^{-1}) foi determinada a 13% de umidade média. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância individual para cada ambiente e, posteriormente, à análise de variância conjunta. O efeito de genótipos foi considerado fixo e os demais, como aleatório (bloco, ambiente, interação genótipo x ambiente e erro experimental). A homogeneidade das variâncias residuais foi verificada pela relação entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo (QMr+/QMr-) (teste F máximo de Hartley), adotando-se o critério prático dessa relação não ultrapassar a proporção de 7:1 (CRUZ; REGAZZI, 1997).

As estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade foram obtidas pelos métodos de Eberhart e Russell (1966), Cruz, Torres e Vencovsky (1989), Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) (original com decomposição de P_i) e AMMI (ZOBEL; WRIGHT; GAUCH, 1988). As análises foram realizadas no aplicativo Genes (CRUZ, 2001), exceto a análise AMMI, a qual foi efetuada no aplicativo Estabilidade (FERREIRA, 2000).

As linhagens foram classificadas com base nos parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade de cada método, sendo o ranqueamento realizado de acordo com os índices resultantes de cada metodologia e com a média da produtividade de grãos, de maneira similar à metodologia adotada por Maziero (2011). No método de Eberhart e Russell (1966), as linhagens foram classificadas pela média da produtividade de grãos, β_{ii} e σ_{di}^2 . A classificação 1 foi atribuída a linhagem com maior média de produtividade de grãos, o menor desvio de β_{ii} em relação a 1 e o menor valor absoluto de

σ_{di}^2 . Quando os desvios de β_{ii} em relação a 1 eram de mesma magnitude e sinais diferentes, a linhagem com desvio positivo recebia um número de classificação menor do que a linhagem com desvio negativo. Se os desvios de β_{ii} em relação a 1 fossem de mesma magnitude, porém de sinais iguais, a linhagem com maior média de produtividade de grãos recebia um número de classificação menor. No final, foram calculadas as médias dos três parâmetros para cada linhagem, sendo novamente realizado um ranqueamento, onde a linhagem com menor valor absoluto recebeu a classificação 1, e esta foi realizada até a g-ésima linhagem. No caso de empate, o menor número de classificação era atribuído a linhagem que apresentava a maior média de produtividade de grãos.

A classificação das linhagens no método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) foi realizada com base na média da produtividade de grãos, β_{ii} , $\beta_{ii} + \beta_{2i}$ e σ_{di}^2 . Recebeu a classificação 1 a linhagem que apresentava a maior média de produtividade de grãos e os menores valores absolutos de β_{ii} e σ_{di}^2 e maiores de $\beta_{ii} + \beta_{2i}$. As médias dos parâmetros para cada linhagem foram calculadas de maneira idêntica ao descrito para o método de Eberhart e Russell (1966) e a média da produtividade de grãos foi usada como critério de desempate.

No método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) (original com decomposição de P_i), as linhagens foram ordenadas de acordo os parâmetros de estabilidade para ambientes em geral (P_i), favoráveis (P_{if}) e desfavoráveis (P_{id}) e com a média da produtividade de grãos. A linhagem com menor estimativa dos parâmetros recebia a classificação 1, e esta foi realizada até a g-ésima cultivar. Após foi calculada a média dos três parâmetros para cada linhagem e, novamente, foi feito o ranqueamento das linhagens, de forma idêntica ao descrito anteriormente. Esse ranqueamento foi somado à classificação das linhagens pela média da produtividade de grãos e calculada a média, que foi utilizada para o

ranqueamento das linhagens. A linhagem com menor escore recebeu a classificação 1.

Na análise AMMI, a média da produtividade de grãos e os escores dos três primeiros componentes principais foram utilizados como parâmetros para a classificação das linhagens. Primeiramente, as linhagens foram classificadas de acordo com a média da produtividade de grãos. Na sequência, os valores de escores dos três primeiros componentes principais, para cada linhagem, foram somados e dividiu-se pelo número de componentes principais envolvidos na análise, obtendo-se a média dos escores. A partir da classificação das linhagens pela média da produtividade de grãos e a média dos escores dos componentes principais, obteve-se um valor médio para cada linhagem, sendo que a linhagem com menor valor absoluto recebia a classificação 1. O valor da média do escore em valor absoluto foi o critério de desempate, sendo que a linhagem que contribuiu menos para interação GxA (menor valor) recebia um número de classificação menor do que as linhagens com valores maiores de média dos escores.

A associação entre os métodos de estabilidade foi avaliada pela correlação linear de Spearman, aplicada às ordens de classificação obtidas em cada par de métodos. A significância do coeficiente de correlação linear foi verificada pelo teste F a 5% de probabilidade. Essa análise estatística foi realizada no aplicativo Bioestat (AYRES et al., 2007).

Resultados e Discussão

Na análise de variância individual verificou-se que as linhagens diferiram significativamente ($p \leq 0,05$), com exceção do experimento conduzido em Maquiné no cultivo de safrinha 2009 (Tabela 1). A produtividade média de grãos variou de 643 kg ha⁻¹ (Canguçu safra 2008/09) a 2.555 kg ha⁻¹ (Santa Maria safrinha 2009), representado uma diferença de 1.912 kg ha⁻¹ entre os ambientes de menor e de maior produtividade de grãos.

O coeficiente de variação experimental variou de 8,33 (Santa Maria safrinha 2009) a 22,72% (Maquiné safrinha 2010) (Tabela 1). De acordo com a classificação proposta por Lúcio, Storck e Banzatto (1999), esses experimentos apresentaram alta precisão experimental. Valores de coeficiente de variação inferiores ou iguais a 25% são compatíveis com o que é exigido pelo RNC/MAPA para o registro de cultivares de feijão (BRASIL, 2006), permitindo então a utilização dos dados dos 10 ensaios. Os demais parâmetros, valor do teste F (F_c) e herdabilidade (h^2) apresentaram precisão experimental alta ou muito alta em todos os ambientes, segundo a classificação estabelecida por Cargnelutti Filho, Storck e Ribeiro (2009).

Na análise de variância conjunta observou-se interação genótipo x ambiente significativa em relação à produtividade de grãos (Tabela 2), caracterizando efeito diferenciado nas linhagens de feijão em função da variação do ambiente. Alteração de desempenho de linhagens de feijão, quando cultivadas em ambientes diferentes, também foi verificada em estudos anteriores realizados no Rio Grande do Sul (RIBEIRO et al., 2008, 2009).

Tabela 1. Análises de variâncias individuais, com quadrado médio de linhagens (QM_L), quadrado médio do erro (QMe), média da produtividade de grãos (prod. – kg ha⁻¹), coeficiente de variação (CV%), valor do teste F (F_c) e herdabilidade (h^2) dos 10 ensaios de Valor de Cultivo e Uso conduzidos no Rio Grande do Sul durante o biênio 2008 e 2009.

Ambiente	QM_L	QMe	Prod. (kg ha ⁻¹)	CV (%)	F_c	h^2
1-Santa Maria safrinha 2009	213085,82*	45301,32	2.555	8,33	8,88	0,79
2-Maquiné safra 2008/2009	892952,44*	66620,83	1.554	16,61	26,30	0,93
3-Santo Augusto safra 2008/2009	216229,32*	10169,27	1.152	8,75	42,02	0,95
4-Maquiné safrinha 2009	25511,93 ^{ns}	5646,73	690	10,89	8,50	0,78
5-Santo Augusto safrinha 2009	63399,01*	17773,63	1.170	11,39	6,59	0,72
6-Maquiné safra 2009/2010	754866,11*	31425,91	1.588	11,16	47,54	0,96
7-Santo Augusto safra 2009/2010	526367,19*	89397,21	2.537	11,78	11,25	0,83
8-Maquiné safrinha 2010	152443,60*	48532,85	969	22,72	5,73	0,68
9-Santo Augusto safrinha 2010	111094,90*	28469,29	1.815	9,30	7,27	0,74
10-Canguçu safra 2008/2009	208556,47*	7325,79	643	13,31	56,43	0,96

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. ^{ns} não significativo.

Fonte: Elaboração dos autores.

Tabela 2. Análise de variância conjunta e da análise AMMI para a produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 17 linhagens de feijão, avaliadas em 10 ambientes no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2008 e de 2009.

Fontes de Variação	GL ⁽¹⁾	QM ⁽²⁾	CP ⁽³⁾	Proporção SQ_{GxA}/CP (%)	Proporção acumulada
Bloco/Ambiente	30	3565379,28 *	1	39,41	39,41
Genótipos (G)	16	13268538,44 *	2	28,38	67,79
Ambientes (A)	9	426286,81 *	3	10,19	77,98
GxA	144	843516,12 *	4	9,23	87,20
CP 1	24	1994462,21 *	5	5,96	93,16
CP 2	22	1566780,58 *	6	3,68	96,84
CP 3	20	618914,77 *	7	1,54	98,38
Desvios	78	342971,29 *	8	1,13	99,52
Resíduo	308	54648,75	9	0,48	100
Total	679				
Média ⁽⁴⁾		1.467			
C.V. (%) ⁽⁵⁾		15,93			

⁽¹⁾ Graus de liberdade. ⁽²⁾ Quadrado médio. ⁽³⁾ Componentes principais. ⁽⁴⁾ Média da produtividade de grãos; ⁽⁵⁾ Coeficiente de variação. *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. ^{ns} = não significativo.

Fonte: Elaboração dos autores.

Pelo método de Eberhart e Russel (1966), as linhagens LP 04-03, CNFC 10408, GEN C 2-1-1, GEN C 2-1-3, Pérola, SM 0707 e SM 1007 apresentaram adaptação específica a ambientes favoráveis ($\beta_{ii} > 1$) e as demais, adaptação específica a ambientes desfavoráveis ($\beta_{ii} < 1$) (Tabela 3). Nenhuma linhagem apresentou adaptação geral às condições de cultivo, pois o coeficiente de regressão (β_{ii}) foi diferente da unidade ($\beta_{ii} \neq 1$), ou seja, essas

linhagens não modificaram seu desempenho de modo regular conforme as mudanças na qualidade do ambiente. A estabilidade, quando verificada pelos desvios da regressão, indicou apenas a linhagem CHP 98-59 como estável (σ_{di}^2 não significativo). Com exceção da Guapo Brilhante, as demais linhagens apresentaram desvios da regressão significativos e R^2 superiores a 80%, e portanto foram consideradas de previsibilidade tolerável ou aceitável, como

sugerido por Cruz e Regazzi (1997). Neste caso, estas linhagens apresentaram pouca alteração da produtividade de grãos em função da variação do ambiente.

Nenhuma linhagem pode ser classificada como ideal, segundo os critérios de Eberhart e Russell (1966), pois não houve linhagem que apresentou simultaneamente alta produtividade de grãos, coeficiente de regressão igual à unidade (ampla adaptabilidade) e desvio da regressão igual a zero (estabilidade alta) (Tabela 3). Este método, também não foi eficiente para a identificação de cultivares de feijão com estabilidade de produção para o cultivo no Estado do Rio Grande do Sul numa avaliação preliminar realizada entre os anos de 1988 a 1994 (PIANA et al., 1999). Entretanto, a cultivar Guapo Brilhante que apresentou alta produtividade de grãos, adaptação e estabilidade de produção, de acordo com o método de Eberhart e Russell (1966), foi indicada para o cultivo no Rio Grande do Sul em 2009 (RIBEIRO et al., 2009). As diferenças observadas podem ser justificadas pelo fato de que o método de Eberhart e Russell (1966) somente será eficiente para identificar cultivares ideais quando os dados se ajustarem ao modelo linear, ou seja, com menores valores de desvios e coeficientes de regressão próximos ou igual a 1 ($\beta_{1i}=1$ e $\sigma_{di}^2=0$), o que não foi observado no presente estudo e no trabalho de Piana et al. (1999).

No método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), as linhagens LP 04-03, CNFC 10408, CNFC 10429, CHP 98-59, GEN C 2-1-3 e SM 0707 apresentaram adaptabilidade para ambientes favoráveis ($\beta_{1i} + \beta_{2i} > 1$) e as linhagens LP 04-03 e GEN C 2-1-3 foram, também, adaptadas a ambientes desfavoráveis ($\beta_{1i} < 1$) (Tabela 3). De maneira similar ao observado no método de Eberhart e Russell (1966), não foram identificadas linhagens com perfil de genótipo ideal ($\beta_{1i} + \beta_{2i} > 1, \beta_{1i} < 1$ e $\sigma_{di}^2 = 0$) às condições de cultivo e apenas a linhagem CHP 98-59 foi considerada com estabilidade de produção, devido a não significância do desvio da regressão. Nenhuma linhagem obteve o desempenho preconizado como ideal segundo Cruz, Torres e Vencovsky (1989): alta produtividade de grãos; capacidade de responder à melhoria do ambiente, $\beta_{1i} + \beta_{2i} > 1$; baixa sensibilidade às condições adversas dos ambientes desfavoráveis, $\beta_{1i} < 1$; e alta estabilidade, σ_{di}^2 não significativo. Backes et al. (2005), também não obtiveram sucesso na identificação de cultivares de feijão promissoras para o cultivo em Santa Catarina, de acordo com o proposto por Cruz, Torres e Vencovsky (1989). A dificuldade de identificação de cultivares ideais para o cultivo pelo método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) pode ser atribuída a correlação positiva existente entre o β_{1i} e o $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ (MIRANDA et al., 1998).

Tabela 3. Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade obtidas pelos métodos de Eberhart e Russel (1966), Cruz, Torres e Vencovsky (1989), Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) e AMMI para 17 linhagens de feijão avaliadas em 10 ambientes no Estado do Rio Grande do Sul.

Linhagem	Eberhart e Russel (1966)					Cruz, Torres e Vencovsky (1989)				
	Prod. ⁽¹⁾	β_{ii} ⁽²⁾	σ_{di}^2 ⁽³⁾	R ²	C ⁽⁴⁾	β_{ii} ⁽²⁾	$\beta_{ii} + \beta_{2i}$ ⁽⁵⁾	σ_{di}^2 ⁽³⁾	R ² (%)	C ⁽⁴⁾
LP 04-03	1.598	1,21 *	127778 *	84	13	0,80 *	7,57 *	412237 *	90	2
LP 04-72	1.556	0,91 *	14565 *	94	3	-2,36 *	0,41 *	98734 *	95	4
CNFC 10408	1.392	1,08 *	141570 *	80	14	-2,84 *	8,55 *	252275 *	92	10
CNFC 10429	1.278	0,90 *	30671 *	91	11	-3,05 *	1,37 *	144676 *	93	13
BRS Valente	1.327	0,94 *	15717 *	94	8	-1,31 *	-0,31 *	116051 *	94	9
Guapo Brilhante	1.426	0,88 *	131241 *	74	15	1,63 *	-7,91 *	311489 *	87	15
CHC 97-29	1.584	0,97 *	41999 *	90	2	1,69 *	-4,12 *	126991 *	94	6
CHP 98-59	1.478	0,99 *	-2702 ^{ns}	98	1	-0,79 *	1,11 *	22222 ^{ns}	99	1
GEN C 2-1-1	1.302	1,07 *	24781 *	94	9	1,23 *	0,92 *	158002 *	94	7
GEN C 2-1-3	1.346	1,13 *	65450 *	89	17	1,72 *	2,46 *	334633 *	90	14
Pérola	1.516	1,02 *	77345 *	86	5	1,30 *	-1,35 *	380087 *	86	12
Carioca	1.375	0,88 *	68433 *	83	16	-2,98 *	0,28 *	341639 *	84	17
SM 0707	1.657	1,17 *	20584 *	95	7	2,75 *	2,19 *	137232 *	95	3
SM 1007	1.582	1,11 *	106760 *	84	10	4,31 *	-3,14 *	401243 *	88	16
SM 1207	1.667	0,93 *	84866 *	82	4	1,25 *	-5,18 *	285250 *	88	5
TB 02-21	1.455	0,87 *	36984 *	89	12	-1,44 *	-2,87 *	195770 *	90	11
TB 02-20	1.400	0,92 *	17293 *	94	6	-1,91 *	0,03 ^{ns}	118879 *	94	8
Linhagem	Lin e Binns (1988) modificado					AMMI				
	Prod. ⁽¹⁾	P_{if} (x10 ³) ⁽⁶⁾	P_{id} (x 10 ³) ⁽⁶⁾	P_{id} (x 10 ³) ⁽⁶⁾	C ⁽⁴⁾	CP1 ⁽⁷⁾	CP2 ⁽⁷⁾	CP3 ⁽⁷⁾	MEA ⁽⁸⁾	C ⁽⁴⁾
LP 04-03	1.598	138,15	250,79	25,51	6	0,52	0,34	0,40	0,42	11
LP 04-72	1.556	105,58	191,53	19,62	4	0,46	0,49	0,07	0,34	12
CNFC 10408	1.392	244,90	429,41	60,39	14	0,12	0,17	0,06	0,12	9
CNFC 10429	1.278	275,95	461,12	90,77	17	0,38	0,17	0,12	0,22	14
BRS Valente	1.327	229,18	349,19	109,17	16	0,10	0,18	0,06	0,11	13
Guapo Brilhante	1.426	184,37	274,40	94,35	11	0,12	0,14	0,07	0,11	5
CHC 97-29	1.584	78,74	111,48	46,00	3	0,12	0,14	0,02	0,09	3
CHP 98-59	1.478	126,26	214,75	37,76	5	0,01	0,12	0,04	0,06	4
GEN C 2-1-1	1.302	226,39	309,52	143,25	15	0,08	0,04	0,08	0,07	7
GEN C 2-1-3	1.346	216,69	301,37	132,00	13	0,01	0,51	0,22	0,25	16
Pérola	1.516	127,56	183,46	71,66	8	0,12	0,38	0,26	0,25	8
Carioca	1.375	241,39	426,68	56,10	12	0,25	0,26	0,30	0,27	17
SM 0707	1.657	50,67	62,20	39,14	2	0,00	0,10	0,12	0,07	1
SM 1007	1.582	92,33	111,29	73,36	7	0,35	0,06	0,38	0,26	6
SM 1207	1.667	59,65	101,55	17,76	1	0,02	0,02	0,26	0,10	2
TB 02-21	1.455	151,98	253,47	50,48	9	0,33	0,12	0,47	0,31	15
TB 02-20	1.400	195,86	337,71	54,01	10	0,09	0,05	0,38	0,17	10

Produtividade média de grãos (kg ha⁻¹); ⁽²⁾ H₀: $\beta_{ii} = 1$; ⁽³⁾ H₀: $\sigma_{di}^2 = 0$; ⁽⁴⁾ Classificação das cultivares com base nos parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade; ⁽⁵⁾ H₀: $\beta_{ii} + \beta_{2i} = 1$; ⁽⁶⁾ P_i: parâmetro de estabilidade e adaptabilidade, decomposto em ambiente favorável (P_{if}) e desfavorável (P_{id}); ⁽⁷⁾ Escores absolutos dos três primeiros componentes principais (CP); ⁽⁸⁾ Média dos escores absolutos; ^{ns} Não-significativo; * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Fonte: Elaboração dos autores.

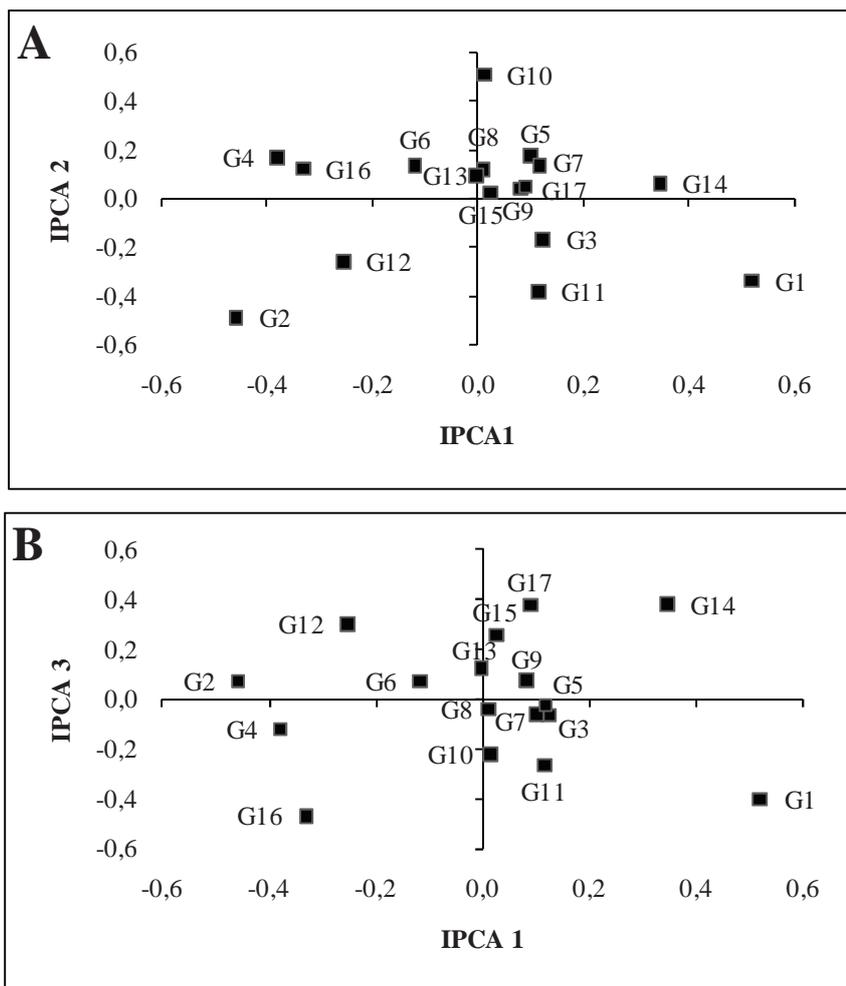
A análise segundo o método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) indicou as linhagens SM 0707, SM 1207 e SM 1007 com adaptação a ambientes favoráveis ($< P_{if}$) e as linhagens SM 1207, LP 04-72 e LP 04-03 com adaptação a ambientes desfavoráveis ($< P_{id}$) (Tabela 3). Adicionalmente, identificaram-se as linhagens com maior estabilidade de produção (menor valor de P_i): SM 0707, SM 1207 e CHC 97-29. As linhagens com menor valor de P_i são desejáveis, pois apresentaram menores desvios em relação à produtividade de grãos máxima em cada ambiente, ou seja, obtiveram desempenho próximo ao máximo na maioria dos experimentos. Já, a linhagem CNFC 10429 foi a mais instável, obtendo o maior valor de P_i . O uso da metodologia de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) tem sido eficiente para a seleção de linhagens de feijão com alta produtividade de grãos, adaptadas a ambientes específicos e com alta estabilidade fenotípica (MELO et al., 2007; RIBEIRO et al., 2008).

Pela metodologia AMMI, os três primeiros componentes principais foram significativos e somados explicaram 77,98% da soma dos quadrados da interação G x A (Tabela 2), indicando que o modelo foi adequado para explicar os efeitos da interação. Como a representação gráfica do modelo AMMI 3 é dificultada, devido a necessidade de apresentação de um gráfico tridimensional, optou-se pela apresentação de gráficos combinando os eixos principais, dois a dois, como sugerido por Gonçalves et al. (2009). No modelo AMMI 2 (Figura 1A), as linhagens SM 0707 (G13), SM 1207 (G15), CHP 98-59 (G8), GEN C 2-1-1 (G9), TB 02-21 (G17), CHC 97-29 (G7) e BRS Valente (G5) apresentaram comportamento estável, concentrando-se na região próxima a origem do biplot. Para o biplot do modelo AMMI 3 (Figura 1B), houve concordância com o modelo AMMI 2 quanto a estabilidade de produção das linhagens. Gonçalves et al. (2009), também observaram que houve semelhança entre os modelos AMMI 2 e AMMI 3 na identificação de cultivares de feijão com estabilidade de produção.

As metodologias não foram concordantes na identificação de linhagens de feijão adaptadas a ambientes específicos e no geral e estáveis (Tabela 3). De acordo com os métodos de Eberhart e Russell (1966) e de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), a linhagem CHP 98-59 foi a mais estável e apresentou produtividade de grãos (1.478 kg ha⁻¹) semelhante a média geral (1.467 kg ha⁻¹), porém em valor absoluto inferior ao obtido em outras linhagens avaliadas. Já, o uso dos métodos de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) e AMMI permitiram a identificação das linhagens SM 1207 e SM 0707 como as mais estáveis e essas apresentaram os maiores valores de produtividade de grãos (1.667 e 1.657 kg ha⁻¹, respectivamente). Como a produtividade de grãos é o caráter de maior importância para o melhoramento genético do feijão, a utilização de metodologias que permitam a seleção de linhagens estáveis e com alta produtividade de grãos é recomendado.

O estudo de correlação entre os métodos é de grande importância na definição de qual ou quais metodologias deverão ser utilizadas na identificação de linhagens de feijão promissoras para o cultivo. O maior valor de correlação foi verificado entre os métodos baseados em análise de regressão, Eberhart e Russell (1966) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989) ($r_s=0,66$) (Tabela 4), indicando que esses métodos geraram informações redundantes e, portanto, não deverão ser utilizados em conjunto. Em ambas as metodologias, a linhagem CHP 98-59 apresentou o melhor ranqueamento (Tabela 3). Pereira et al. (2009), também, verificaram a existência de associação entre esses dois métodos, entretanto, obtiveram um valor de correlação de maior magnitude ($r_s=0,78$). A associação entre Eberhart e Russell (1966) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989) pode ser explicada, principalmente, pelo fato desses métodos utilizarem os mesmos parâmetros de estabilidade (σ_{di}^2 e R^2).

Figura 1. Gráficos biplots de modelo AMMI para dados de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 17 linhagens de feijão (G1, LP 04-03; G2, LP 04-72; G3, CNFC 10408; G4, CNFC 10429; G5, BRS Valente; G6, Guapo Brilhante; G7, CHC 97-29; G8, CHP 98-59; G9, GEN C 2-1-1; G10, GEN C 2-1-3; G11, Pérola; G12, Carioca; G13, SM 0707; G14, SM 1007; G15, SM 1207; G16, TB 02-20; e G17, TB 02-21) avaliadas em 10 ambientes durante o biênio 2008 e 2009, **A:** biplot AMMI 2 – primeiro componente principal (IPCA 1) x segundo componente principal (IPCA 2); **B:** biplot AMMI 3 – primeiro componente principal (IPCA 1) x terceiro componente principal (IPCA 3).



Fonte: Elaboração dos autores.

O método de Eberhart e Russell (1966) e as metodologias não-paramétricas, Lin e Binns modificado por Carneiro (1998) ($r_s=0,60$) e AMMI ($r_s=0,57$) apresentaram-se correlacionadas (Tabela 4). Portanto, o melhorista deverá optar por uma dessas metodologias. No entanto, Melo et al. (2007) recomendaram a utilização conjunta dos métodos

de Eberhart e Russell (1966) e AMMI, apesar da correlação significativa observada, pois o primeiro fornece informações sobre o comportamento de cada linhagem em função da melhoria do ambiente, enquanto que o segundo método possibilita que sejam feitas inferências sobre a contribuição das linhagens para a interação G x A.

Tabela 4. Estimativas de coeficientes de correlação de Spearman para os parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade dos métodos Eberhart e Russell (1966), Cruz, Torres e Vencovsky (1989), Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) (original com decomposição de P_i) e AMMI, obtidas para 17 linhagens de feijão avaliadas em 10 ambientes no Estado do Rio Grande do Sul.

Métodos	Cruz et al.	Lin e Binns modificado	AMMI
Eberhart e Russel	0,66*	0,60*	0,57*
Cruz et al.		0,57*	0,47 ^{ns}
Lin e Binns modificado			0,63*

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns = não significativo.

Fonte: Elaboração dos autores.

A metodologia de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), de forma similar a de Eberhart e Russell (1966), mostrou-se correlacionada com a de Lin e Binns modificado por Carneiro (1998) ($r_s=0,57$), no entanto, não se observou correlação com a análise AMMI ($r_s=0,47^{ns}$) (Tabela 4). Associação positiva também foi constatada entre Lin e Binns modificado por Carneiro (1998) e AMMI ($r_s=0,63$). Portanto, é recomendado o uso conjunto apenas das metodologias Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e AMMI, pois fornecem informações complementares. O uso conjunto das demais metodologias é desaconselhado, pois geram informações semelhantes, devido a correlação significativa.

Os resultados obtidos nesse trabalho corroboram com os de Pereira et al. (2009), ao considerarem a média da produtividade de grãos como um parâmetro para a indicação de cultivares de feijão, exceto quanto a associação dos métodos Eberhart e Russell (1966) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989) com a metodologia de Lin e Binns modificado por Carneiro (1998), que para aquele trabalho não apresentou-se significativo ($r_s = 0,35^{ns}$ e $0,38^{ns}$, respectivamente). Quando a produtividade de grãos é considerada como parâmetro na indicação de cultivares existe a tendência de alteração no padrão de associação entre as metodologias, uma vez que existem metodologias fortemente atreladas à média. Portanto, em análises de adaptabilidade e de estabilidade quando se considera a produtividade de grãos como parâmetro, o melhorista de feijão poderá optar pelas metodologias de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e AMMI. Isso porque um estudo mais refinado sobre o desempenho das linhagens em ambientes em geral, favoráveis

e desfavoráveis foi possível com o uso do método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989). Já, a análise AMMI permitiu a identificação de linhagens com adaptação específica a determinado ambiente. Como essas metodologias não foram correlacionadas e forneceram informações complementares, o seu uso conjunto permitiu a identificação de novas linhagens de feijão promissoras para o cultivo no Estado do Rio Grande do Sul.

Conclusões

Os métodos não são concordantes na identificação de cultivares de feijão com adaptabilidade e estabilidade de produção. Os métodos de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e AMMI não se correlacionam e o seu uso conjunto é recomendado. As linhagens SM 0707, SM 1207 e CHP 98-59 apresentam alta produtividade de grãos e estabilidade de produção, sendo promissoras para o cultivo no Estado do Rio Grande do Sul.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas concedidas.

Referências

AYRES, M.; AYRES, M. J.; AYRES, D. L.; SANTOS, A. A. S. dos. *BIOESTAT*: aplicações estatísticas nas áreas das ciências bio-médicas. 5. ed. Belém: UFP, 2007. 339 p.

- BACKES, R. L.; ELIAS, H. T.; HEMP, S.; NICKNICH, W. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro no estado de Santa Catarina. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 27, n. 2, p. 309-314, 2005.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Requisitos Mínimos para Determinação do Valor de Cultivo e Uso de Feijão (Phaseolus vulgaris), para a Inscrição no Registro Nacional de Cultivares – RCN*. Brasília: MAPA, 2006. Anexo IV. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 17 dez. 2010.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L.; RIBEIRO, N. D. Medidas da precisão experimental em ensaios com genótipos de feijão e de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 44, n. 10, p. 1225-1231, 2009.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L.; RIBOLDI, J.; GUADAGNIN, J. P. Associação entre métodos de adaptabilidade e estabilidade em milho. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 2, p. 340-347, 2009.
- CARNEIRO, P. C. S. *Novas metodologias de análise de estabilidade e adaptabilidade de comportamento*. 1998. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. *Acompanhamento da safra brasileira: grãos, oitavo levantamento*. Brasília: CONAB, 2012. 43 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/8graos_6.5.10.pdf>. Acesso em: 8 maio 2012.
- CRUZ, C. D. *Programa genes: aplicativo computacional em genética e estatística: versão Windows*. Viçosa: UFV, 2001. 648 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: UFV, 1997. 390 p.
- 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*, Ribeirão Preto, v. 12, p. 567-580, 1989.
- DUARTE, J. B.; VENCOSKY, R. *Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise “AMMI”*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60 p.
- EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, Madison, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966.
- EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO RIO GRANDE DO SUL – EMATER. *Acompanhamento da safra: safra 2011/2012: tabelas*. Porto Alegre: EMATER, 2012. 7 p.
- FERREIRA, D. F. *Aplicativo estabilidade*. Lavras: UFPA, 2000. Disponível em: <<http://www.dex.ufla.br/~danielff/software.htm>>. Acesso em: 30 dez. 2008.
- GONÇALVES, J. G. R.; CHIORATO, A. F.; PERINA, E. F.; CARBONELL, S. A. M. Estabilidade fenotípica em feijoeiro estimada por análise AMMI com genótipo suplementar. *Bragantia*, Campinas, v. 68, n. 4, p. 863-871, 2009.
- LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, v. 68, n. 1, p. 193-198, 1988.
- LÚCIO, A. D. C.; STORCK, L.; BANZATTO, D. A. Classificação dos experimentos de competição de cultivares quanto a sua precisão. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 99-103, 1999.
- MAZIERO, S. M. *Associação entre métodos de adaptabilidade e de estabilidade em feijão*. 2011. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- MELO, L. C.; MELO, P. G. C.; FARIA, L. C.; DIAZ, J. L. C.; PELOSO, M. J. D.; RAVA, C. A.; COSTA, J. G. C. Interação com ambientes e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum na Região Centro-Sul do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 42, n. 5, p. 715-723, 2007.
- MIRANDA, G. C.; VIEIRA, C.; CRUZ, C. D.; ARAUJO, G. A. A. Comparação de métodos de avaliação da adaptabilidade e da estabilidade de cultivares de feijoeiro. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 20, n. 3, p. 249-255, 1998.
- PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; PELOSO, M. J. D.; FARIA, L. C.; COSTA, J. G. C.; DIAZ, J. L. C.; RAVA, C. A.; WENDLAND, A. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijoeiro-comum. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 44, n. 4, p. 374-383, 2009.
- PIANA, C. F. de B.; ANTUNES, I. F.; SILVA, J. G. C.; SILVEIRA, E. P. Adaptabilidade e estabilidade do rendimento de grãos de genótipos de feijão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n. 4, p. 553-564, 1999.
- RIBEIRO, N. D.; ANTUNES, I. F.; SOUZA, J. F.; POERSCH, N. L. Adaptação e estabilidade de produção de cultivares e linhagens-elite de feijão no Estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2434-2440, 2008.
- RIBEIRO, N. D.; SOUZA, J. F.; ANTUNES, I. F.; POERSCH, N. L. Estabilidade de produção de cultivares de feijão de diferentes grupos comerciais no Estado do Rio Grande do Sul. *Bragantia*, Campinas, v. 68, n. 2, p. 339-346, 2009.
- ZOBEL, R. W.; WRIGHT, M. J.; GAUCH, H. G. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, Madison, v. 80, n. 3, p. 388-393, 1988.