

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ASSOCIAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE
ADAPTABILIDADE E DE ESTABILIDADE EM FEIJÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Sandra Maria Maziero

Santa Maria, RS, Brasil

2011

ASSOCIAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ADAPTABILIDADE E DE ESTABILIDADE EM FEIJÃO

Sandra Maria Maziero

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia.**

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Nerinéia Dalfollo Ribeiro

Santa Maria, RS, Brasil

2011

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-graduação em Agronomia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ASSOCIAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ADAPTABILIDADE E DE
ESTABILIDADE EM FEIJÃO**

elaborada por
Sandra Maria Maziero

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Nerinéia Dalfollo Ribeiro, Dr^a.
(Presidente/Orientadora)

Arione da Silva Pereira, Dr. (Embrapa Clima Temperado)

Alberto Cargnelutti Filho, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 22 de fevereiro de 2011.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que está sempre presente em todos os momentos de minha vida, iluminando meus caminhos.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia pela oportunidade de realização do curso de Mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Nerinéia Dalfollo Ribeiro, pela amizade, pela atenção, pelo incentivo e sugestões dadas para a realização desse trabalho.

Aos meus co-orientadores Prof. Dr. Alberto Cargnelutti Filho e Prof^a. Dr^a. Lia Rejane Silveira Reiniger, pela amizade e pelos preciosos ensinamentos que muito auxiliaram na análise estatística dos dados e na redação deste trabalho.

Aos demais professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia, pelos conhecimentos transmitidos nesses dois anos de estudo.

A Embrapa Clima Temperado e a Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) pela cedência dos dados.

Aos colegas e sempre amigos, Ana Lúcia da Silva Gomes, Daniele Piano Rosa, Evandro Jost, Guilherme Godoy dos Santos, Micheli Thaíse Della Flora Possobom, Nerison Luís Poersch, Patrícia Medianeira Grigoletto Londero, Simone Saydelles da Rosa e Taiguer Cerutti pelo companheirismo e pela colaboração na condução do trabalho.

As meus amigos (as), Cristiane dos Santos Stecca, Joana Graciela Hanauer, Juliana Felipetto Cargnelutti, Taísa Felipetto Cargnelutti, Marina Segala e Elder Dal Prá pelo carinho, incentivo e apoio.

Enfim, a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para que esse trabalho fosse realizado.

Muito obrigada!

“A mente humana, quando aberta a uma nova idéia, jamais volta ao seu tamanho original”

(Albert Einstein)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

ASSOCIAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ADAPTABILIDADE E DE ESTABILIDADE EM FEIJÃO

AUTORA: SANDRA MARIA MAZIERO

ORIENTADORA: NERINÉIA DALFOLLO RIBEIRO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 22 de fevereiro de 2011.

O estudo da adaptabilidade e da estabilidade para produtividade de grãos permite a identificação de cultivares adaptadas às condições específicas ou amplas, estáveis e de elevada produtividade de grãos e pode ser realizado com o emprego de diferentes metodologias. Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar a associação entre métodos de adaptabilidade e de estabilidade para a produtividade de grãos em feijão e identificar cultivares mais promissoras para o cultivo no Estado do Rio Grande do Sul. Para tanto, foram utilizados os métodos de Eberhart e Russell (1966), de Cruz et al. (1989), da análise dos efeitos principais aditivos e da interação multiplicativa (AMMI), de Lin e Binns (1988) modificado e de Annicchiarico (1992), sendo que, nas três primeiras metodologias, a média de produtividade de grãos foi considerada como um parâmetro de adaptabilidade e estabilidade. Os experimentos de competição de cultivares de feijão foram realizados no delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008, em nove municípios do Estado do Rio Grande do Sul, em cultivo de safra e de safrinha, totalizando 24 experimentos. Foram avaliadas 12 cultivares de feijão de diferentes grupos comerciais (preto, carioca e manteigão): Diamante Negro, Guapo Brilhante, Guateian 6662, IAPAR 44, Macanudo, Macotaço, Minuano, Tio Tibagi, TPS Nobre, Carioca, Pérola e Iraí. Houve interação cultivares com ambientes significativa para a produtividade de grãos. A cultivar TPS Nobre foi a que mais se aproximou do comportamento preconizado como ideal, exceto pela análise AMMI. Já a cultivar Iraí foi instável e apresentou baixa produtividade de grãos no Estado do Rio Grande do Sul. Correlação significativa foi observada entres os métodos de Eberhart e Russell (1966), de Cruz et al. (1989), AMMI, de Lin e Binns (1988) modificado e de Annicchiarico (1992), demonstrando que estes estão associados. As metodologias de Lin e Binns (1988) modificado ($r_s = 0,95$) e de Annicchiarico (1992) ($r_s = 0,97$) foram altamente correlacionadas com as médias de produtividade de grãos e permitiram a identificação de cultivares estáveis e adaptadas entre as mais produtivas. Deste modo, em análise de adaptabilidade e de estabilidade na cultura do feijão, quando a média da produtividade de grãos é considerada como um parâmetro de adaptabilidade e de estabilidade, não se recomenda o uso conjunto dos métodos de Eberhart e Russell (1966), de Cruz et al. (1989), AMMI, de Lin e Binns (1988) modificado e de Annicchiarico (1992). A escolha do método mais adequado fica a critério do pesquisador.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.. Interação genótipo x ambiente. Indicação de cultivares. Correlação de Spearman.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Agronomy Post-graduation Program
Santa Maria Federal University

ASSOCIATION BETWEEN ADAPTABILITY AND ESTABILITY METHODS IN COMMON BEAN

AUTHOR: SANDRA MARIA MAZIERO

ADVISER: NERINÉIA DALFOLLO RIBEIRO

Place and Date of the Defense: Santa Maria, February 22th, 2011.

The study of adaptability and yield stability allows to identify cultivars adapted to specific conditions and wide, stable and with high grain yield, and can be realized as the different methodologies employed. Thus, the aim of this study was to investigate the association between adaptability and stability methods for grain yield in common bean cultivars and identify the most promising for cultivation in State of Rio Grande do Sul. For this, were used the Eberhart and Russell (1966), the Cruz et al. (1989), the additive main effects and multiplicative interaction analysis (AMMI), the Lin and Binns (1988) modified and the Annicchiarico (1992) methods, and, in the first three methods, the average grain yield was considered as a parameter of stability and adaptability. The competition trials of common bean cultivars were conducted in randomized block experimental design with three replications, during the growing seasons from 2000 to 2008, in ten different places of Rio Grande do Sul State, in different crop cultivation and harvesting period, totaling 24 experiments. We evaluated 12 common bean cultivars of different commercial groups (black, carioca and cranberry): Diamante Negro, Guapo Brilhante, Guateian 6662, IAPAR 44, Macanudo, Macotaço, Minuano, Tio Tibagi, TPS Nobre, Carioca, Pérola and Iraí. Significant cultivars x environments interaction were observed for grain yield. The TPS Nobre cultivar was the one closest to praised as ideal behavior, except for the AMMI analysis. While the Iraí cultivar was unstable and had low grain yield in Rio Grande do Sul State. Significant correlation was observed among Eberhart and Russell (1966), Cruz et al. (1989), AMMI, Lin and Binns (1988) modified and Annicchiarico (1992) methods, demonstrating that they are associated. Lin and Binns (1988) modified ($r_s = 0.95$) and Annicchiarico (1992) ($r_s = 0.97$) methodologies were highly correlated with the average grain yield and allowed the identification of stable and adapted cultivars among the most productive. Thus, in analysis of adaptability and stability for common bean crop, when the average grain yield is considered as a parameter of adaptability and stability, not recommended to use together of Eberhart and Russell (1966), Cruz et al. (1989), AMMI, Lin and Binns (1988) modified and Annicchiarico (1992) methods. Choosing the most appropriate method is at the discretion of the researcher.

Key-words: *Phaseolus vulgaris* L.. Genotype x environment interaction. Cultivars indication. Spearman correlation.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 – Municípios do Estado do Rio Grande do Sul onde foram realizados os ensaio de cultivares de feijão, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008. Santa Maria - RS, UFSM, 2011..... 21
- FIGURA 2 – Classificação dos 24 experimentos conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008, segundo o índice ambiental. Ambientes desfavoráveis (4, 19, 23, 2 e 6, Santa Maria - safras 2002/03, 2006/07 e 2007/08 e safrinhas 2001 e 2004, respectivamente; 8, Maquiné - safra 2004/05; 11 e 20, Santo Augusto - safras 2004/05 e 2006/07, respectivamente; 12, São Borja - safra 2004/05; 13, Frederico Westphalen - safra 2005/06; 18, Palmeira das Missões - safra 2006/07) e ambientes favoráveis (1, 3, 5, 10, 15 e 24, Santa Maria - safras 2000/01, 2001/02, 2003/04, 2004/05 e 2005/06 e safrinha 2008; 7, Frederico Westphalen - safra 2004/05; 9, Pelotas - safra 2004/05; 14 e 17, Maquiné - safra 2005/06 e 2006/07; 16, Santo Augusto - safra 2005/06; 21, Vacaria - safra 2006/07; 22, Veranópolis - safra 2006/07) para o cultivo de feijão. Santa Maria - RS, UFSM, 2011..... 31
- FIGURA 3 – Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 12 cultivares de feijão (G1, Minuano; G2, TPS Nobre; G3, Guapo Brilhante; G4, Macanudo; G5, Carioca; G6, Macotaço; G7, Guateian 6662; G8, Diamante Negro; G9, IAPAR 44; G10, Rio Tibagi; G11, Pérola; G12, Iraí), avaliadas em 24 experimentos conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008. Santa Maria - RS, UFSM, 2011..... 32
- FIGURA 4 – Gráficos biplot de modelo AMMI 3, para dados de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 12 cultivares de feijão (G1, Minuano; G2, TPS Nobre; G3, Guapo Brilhante; G4, Macanudo; G5, Carioca; G6, Macotaço; G7, Guateian 6662; G8, Diamante Negro; G9, IAPAR 44; G10, Rio Tibagi; G11, Pérola; G12, Iraí), avaliadas em 24 experimentos conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008. Biplot AMMI 1 - Primeiro componente principal (IPCA 1) x produtividade (kg ha^{-1}), biplot AMMI 2 - primeiro componente principal (IPCA 1) x segundo componente principal (IPCA 2) e biplot AMMI 3 - primeiro componente principal (IPCA 1) x terceiro componente principal (IPCA 3), respectivamente. Santa Maria - RS, UFSM, 2011..... 40
- FIGURA 5 – Gráfico biplot para dados de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 12 cultivares de feijão (G1, Minuano; G2, TPS Nobre; G3, Guapo

Brilhante; G4, Macanudo; G5, Carioca; G6, Macotaço; G7, Guateian 6662; G8, Diamante Negro; G9, IAPAR 44; G10, Rio Tibagi; G11, Pérola; G12, Iraí), avaliadas em 24 experimentos conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008: ambientes desfavoráveis (4, 19, 23, 2 e 6, Santa Maria - safras 2002/03, 2006/07 e 2007/08 e safrinhas 2001 e 2004, respectivamente; 8, Maquiné - safra 2004/05; 11 e 20, Santo Augusto - safras 2004/05 e 2006/07, respectivamente; 12, São Borja - safra 2004/05; 13, Frederico Westphalen - safra 2005/06; 18, Palmeira das Missões - safra 2006/07) e ambientes favoráveis (1, 3, 5, 10, 15 e 24, Santa Maria - safras 2000/01, 2001/02, 2003/04, 2004/05 e 2005/06 e safrinha 2008; 7, Frederico Westphalen - safra 2004/05; 9, Pelotas - safra 2004/05; 14 e 17, Maquiné - safra 2005/06 e 2006/07; 16, Santo Augusto - safra 2005/06; 21, Vacaria - safra 2006/07; 22, Veranópolis - safra 2006/07). Primeiro componente principal (IPCA1) x segundo componente principal (IPCA2). Santa Maria - RS, UFSM, 2011..... 42

FIGURA 6 – Comportamento fenotípico para a produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 12 cultivares de feijão (G1, Minuano; G2, TPS Nobre; G3, Guapo Brilhante; G4, Macanudo; G5, Carioca; G6, Macotaço; G7, Guateian 6662; G8, Diamante Negro; G9, IAPAR 44; G10, Rio Tibagi; G11, Pérola; G12, Iraí), avaliadas em 24 ambientes no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008, pelos métodos de Lin e Binns (1988) modificado e de Annicchiarico (1992), em ambientes em geral (P_i e W_i , respectivamente), favoráveis (P_{if} e W_{if} , respectivamente) e desfavoráveis (P_{id} e W_{id} , respectivamente). Santa Maria - RS, UFSM, 2011..... 51

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1 – Resumo das análises de variâncias individuais dos dados de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) dos 24 experimentos de competição de cultivares de feijão conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008. Santa Maria - RS, UFSM, 2011..... 30
- TABELA 2 – Resumo da análise de variância conjunta e da análise AMMI para a produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 12 cultivares de feijão, avaliadas em 24 experimentos conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008. Santa Maria - RS, UFSM, 2011..... 33
- TABELA 3 – Estimativas de parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade fenotípica obtidas pelos métodos de Eberhart e Russel (1966), Cruz et al. (1989) e AMMI (ZOBEL et al., 1988), para 12 cultivares de feijão, avaliadas em 24 experimentos conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008. Santa Maria - RS, UFSM, 2011..... 35
- TABELA 4 – Autovalores e porcentagem da explicação da soma de quadrados da interação GxA (SQQxA) para cada eixo dos componentes principais (CP) gerados pela análise AMMI. Santa Maria - RS, UFSM, 2011..... 38
- TABELA 5 – Estimativas de parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade fenotípica de 12 cultivares de feijão avaliadas em 24 experimentos conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos de 2000 a 2008, pelo método de Lin e Binns (1988) modificado, com decomposição de P_i (parâmetro de estabilidade e adaptabilidade) em favorável (P_{if}) e desfavorável (P_{id}) e pelo método de Annicchiarico (1992) (ω_i - índice de confiança), com decomposição em ambientes favoráveis (ω_{if}) e desfavoráveis (ω_{id}). Santa Maria - RS, UFSM, 2011..... 43
- TABELA 6 – Cultivares de feijão indicadas pelos métodos de Eberhart e Russell (1966), Cruz et al. (1989), AMMI, Lin e Binns (1988) modificado e Annicchiarico (1992), avaliadas em 24 experimentos conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008. Santa Maria - RS, UFSM, 2011..... 45
- TABELA 7 – Estimativas de coeficientes de correlação de Sperman para os parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade de cada par de métodos e média de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) obtidas para 12 cultivares de feijão avaliadas em 24 experimentos conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 e 2008. Santa Maria - RS, UFSM, 2011..... 46

LISTA DE APÊNDICES

- APÊNDICE A – Resumo das análises de variância individuais dos dados de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de sete experimentos de cultivares de feijão conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2009, eliminados da análise conjunta de variância. Santa Maria - RS, UFSM, 2011..... 61
- APÊNDICE B – Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de cultivares de feijão avaliadas em 31 ambientes no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2009. Santa Maria - RS, UFSM, 2011..... 63
- APÊNDICE C – Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 12 cultivares de feijão (G1: Minuano, G2: TPS Nobre, G3: Guapo Brilhante, G4: Macanudo, G5: Carioca, G6: Macotaço, G7: Guateian 6662, G8: Diamante Negro, G9: IAPAR 44, G10: Rio Tibagi, G11: Pérola, G12: Iraí) avaliadas em 24 ambientes no Estado do Rio Grande do Sul, nos anos agrícolas de 2000 a 2008. Santa Maria - RS, UFSM, 2011..... 64
- APÊNDICE D – Comportamento fenotípico para produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 12 cultivares de feijão (G1: Minuano, G2: TPS Nobre, G3: Guapo Brilhante, G4: Macanudo, G5: Carioca, G6: Macotaço, G7: Guateian 6662, G8: Diamante Negro, G9: IAPAR 44, G10: Rio Tibagi, G11: Pérola, G12: Iraí) avaliadas em 24 ambientes no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008, pelo método de Eberhart e Russell (1966). Santa Maria - RS, UFSM, 2011..... 66
- APÊNDICE E – Comportamento fenotípico para produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 12 cultivares de feijão (G1: Minuano, G2: TPS Nobre, G3: Guapo Brilhante, G4: Macanudo, G5: Carioca, G6: Macotaço, G7: Guateian 6662, G8: Diamante Negro, G9: IAPAR 44, G10: Rio Tibagi, G11: Pérola, G12: Iraí) avaliadas em 24 ambientes no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008, pelo método de Cruz et al. (1989). Santa Maria - RS, UFSM, 2011..... 68
- APÊNDICE F – Hábito de crescimento, tipo de grão e genealogia das cultivares de feijão utilizadas no estudo de adaptabilidade e de estabilidade para a produtividade de grãos. Santa Maria - RS, UFSM, 2011..... 70

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
MATERIAL E MÉTODOS	20
RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
CONCLUSÕES	54
REFERÊNCIAS	55
APÊNDICES	61

INTRODUÇÃO

Na safra 2009/10, o Brasil produziu, aproximadamente, 3.265.100 toneladas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) numa área total de 3.576.900 hectares (CONAB, 2010). A maior produtividade média de grãos foi observada na região Centro-oeste (1.914 kg ha⁻¹), seguida das regiões Sudeste (1.552 kg ha⁻¹) e Sul (1.460 kg ha⁻¹). O Estado do Rio Grande do Sul foi responsável pela produção de 115.300 toneladas, com uma produtividade média de grãos de 1.080 kg ha⁻¹ (CONAB, 2010).

O cultivo do feijão é praticado em quase todo o território nacional, em três épocas: (1) safra das “águas” ou safra, com semeadura realizada entre os meses de agosto e outubro, concentrando-se nos Estados da região Sul; (2) safra da “seca” ou safrinha, conduzida durante o período de janeiro a março, abrangendo todos os Estados brasileiros e, em consequência, apresentando maior área semeada; e (3) safra de “inverno”, com semeadura entre os meses de abril e julho, concentrando-se na região tropical (ARAUJO et al., 1996). Deste modo, a cultura é submetida a uma grande variação de ambientes. O termo ambiente refere-se a diferentes locais, épocas, anos de semeadura, níveis tecnológicos, condições edafoclimáticas, entre outras variáveis que afetam o desenvolvimento das plantas e que não são de origem genética (CRUZ; REGAZZI, 1997).

A princípio, o fenótipo é determinado apenas pelo genótipo. Todavia, para a maioria dos caracteres, a expressão fenotípica é dependente também do ambiente (RAMALHO et al., 2008). Entretanto, quando se considera uma série de ambientes, detecta-se, além dos efeitos genéticos e ambientais, um efeito adicional, proporcionado pela interação dos mesmos. Assim, o melhor genótipo em um ambiente pode não o ser em outro. As causas da interação têm sido atribuídas a fatores fisiológicos e bioquímicos próprios de cada genótipo cultivado e a fatores do ambiente previsíveis (fotoperíodo, tipo de solo, fertilidade do solo, toxicidade de alumínio, época de semeadura e práticas agrícolas) e imprevisíveis (distribuição pluviométrica, umidade relativa do ar, temperatura atmosférica e do solo, patógenos e insetos) (CRUZ; REGAZZI, 1997; BORÉM; MIRANDA, 2009).

Interação genótipo (G) x ambiente (A) significativa tem sido verificada para a produtividade de grãos em feijão (DUARTE; ZIMMERMANN, 1994; COSTA et al., 1997; PIANA et al., 1999; BORGES et al., 2000; CARBONELL; POMPEU, 2000;

CARBONELL et al., 2001; RIBEIRO et al., 2004; BACKES et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2006; CARBONELL et al., 2007; MELO et al., 2007; RIBEIRO et al., 2008; GONÇALVES et al., 2009; PEREIRA et al., 2009a; PEREIRA et al., 2009b; RIBEIRO et al., 2009; PERINA et al., 2010). Esse comportamento diferencial dos genótipos à variação do ambiente dificulta a seleção e a identificação de cultivares com ampla adaptação e influência no ganho de seleção (CRUZ; REGAZZI, 1997). Duarte e Vencovsky (1999) comentaram que a interação GxA pode inflacionar as estimativas de variância genética e ocasionar superestimativas dos ganhos de seleção, reduzindo o êxito na seleção.

A condução de experimentos em vários locais e anos permite avaliar a magnitude da interação GxA com mais precisão. As informações geradas nesses ambientes permitem maior qualidade nas inferências sobre quais genótipos serão selecionados e/ou indicados. Contudo, os estudos a respeito da interação GxA, apesar de serem de grande utilidade para o melhoramento de plantas, não propiciam o detalhamento sobre o comportamento de cada genótipo frente às variações ambientais. As análises de adaptabilidade e de estabilidade fornecem essas informações, possibilitando a identificação de genótipos mais produtivos, estáveis e adaptados às condições específicas ou amplas. Assim, a indicação de cultivares pelos órgãos de assistência técnica poderá ser realizada com maior discernimento e segurança.

A adaptabilidade refere-se à capacidade dos genótipos de aproveitarem vantajosamente o estímulo do ambiente e a estabilidade diz respeito à capacidade dos genótipos mostrarem comportamento altamente previsível em função do estímulo do ambiente (CRUZ; REGAZZI, 1997). A estabilidade é uma característica complexa, uma vez que envolve mecanismos genéticos, fisiológicos e morfológicos (MEKBIB, 2002). Segundo esse autor, os genótipos que são selecionados por apresentarem alta produtividade de grãos e estabilidade podem ter uma compensação nos componentes do rendimento, pela capacidade de tolerar estresses ou pela habilidade de se recuperar rapidamente deles.

As análises de adaptabilidade e de estabilidade são complementares à análise de variância individual e à análise conjunta dos dados experimentais resultantes de experimentos conduzidos em uma série de ambientes e são recomendadas quando ocorre interação GxA. Existem várias metodologias que são

utilizadas com esta finalidade (CRUZ; REGAZZI, 1997; DUARTE; VENCOVSKY 1999; CRUZ, 2001; CRUZ; CARNEIRO, 2003).

Nos métodos baseados em análise de variância, as estimativas do parâmetro de estabilidade são expressas em quadrados médios ou em componentes da variância. Entre essas metodologias, estão as propostas por Yates e Cochran (1938) (método tradicional), Plaisted e Peterson (1959), Wricke (1965) e Annicchiarico (1992). Esses métodos podem ser utilizados mesmo quando o número de ambientes for reduzido; além disso, são de fácil interpretação. No entanto, o parâmetro de estabilidade é pouco preciso, por não levar em consideração a média da produtividade de grãos, não ter informações a respeito dos ambientes avaliados e haver um direcionamento da reposta dos genótipos à variação ambiental (CRUZ; REGAZZI, 1997).

As metodologias propostas por Finlay e Wilkinson (1963), Eberhart e Russell (1966) e Tai (1971) baseiam-se em análises de regressão linear, medindo a resposta de cada genótipo às variações ambientais. A variável dependente, que é a variável em estudo, é expressa em função de um índice ambiental. O índice ambiental mede a qualidade dos ambientes avaliados e classifica-os em favoráveis (índices positivos) e desfavoráveis (índices negativos). Há, também, métodos baseados em regressão bissegmentada não-linear (TOLER, 1990) e linear (VERMA et al., 1978; CRUZ et al., 1989), nos quais uma variável indexadora permite avaliar o comportamento dos genótipos de forma diferenciada em ambientes favoráveis e desfavoráveis.

Outro tipo de análise disponível são as baseadas em estatísticas não-paramétricas, representadas pelos métodos de Huehn (1990) e de Lin e Binns (1988). A medida de estabilidade, no primeiro método, é dada pela classificação relativa da variável em estudo nos vários ambientes e na segunda, pelo quadrado médio da distância entre a média do genótipo e a resposta média máxima obtida no ambiente. Huehn (1990) relatou vantagens no uso de estatísticas não-paramétricas quando comparadas às paramétricas: redução da tendenciosidade causada por pontos complementares fora da equação da regressão ajustada; não há necessidade de assumir qualquer hipótese sobre a distribuição dos valores fenotípicos; fácil uso e interpretação; e as adições ou retiradas de poucos genótipos não causam grandes variações nas estimativas.

Na cultura do feijão, os métodos de Eberhart e Russell (1966) e de Lin e Binns (1988) têm sido os mais utilizados (COSTA et al., 1997; PIANA et al., 1999; BORGES et al., 2000; CARBONELL et al., 2001; RIBEIRO et al., 2004; BACKES et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2006; CARBONELL et al., 2007; MELO et al., 2007; RIBEIRO et al., 2008; PEREIRA et al., 2009a; PEREIRA et al., 2009b; RIBEIRO et al., 2009; PERINA et al., 2010). Entretanto, a análise dos efeitos principais aditivos e da interação multiplicativa (AMMI) vem sendo amplamente empregada 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., 2009a; PEREIRA et al., 2009b).

A análise AMMI combina a análise de variância dos efeitos aditivos principais de genótipos e de ambientes com a análise de componentes principais do efeito multiplicativo da interação GxA (ZOBEL et al., 1988; DUARTE; VENCOVSKY, 1999). Nesse método, a soma de quadrados da interação GxA é particionada em duas porções, denominadas de “padrão” e “ruído”, utilizando-se a técnica multivariada de componentes principais. Segundo Gauch e Zobel (1996), uma das premissas dessa análise é a de que nos primeiros eixos concentra-se a maior porcentagem de “padrão”, que contempla fatores ambientais e genéticos mais diretamente relacionados à interação. Assim, à medida que se eleva o número de eixos selecionados, se reduz o poder de predição da análise AMMI, pois se aumenta a porcentagem de “ruído” (porção presente na interação GxA que não está fortemente determinada por genótipos e ambientes). Segundo Duarte e Vencovsky (1999), esse método destaca-se, pois foi desenvolvido com a proposta de melhor descrever a interação GxA, mediante o descarte de ruídos adicionais, presentes nas estimativas tradicionais da interação.

As principais vantagens do uso da análise AMMI são: permite a identificação de genótipos com alta produtividade de grãos e amplamente adaptados; auxilia no zoneamento agrícola, com a finalidade de indicação regionalizada de genótipos e seleção de locais para avaliação de genótipos; possibilita uma fácil interpretação gráfica dos resultados da análise estatística e a identificação de genótipos adaptados a ambientes específicos (ZOBEL et al., 1988; GAUCH; ZOBEL, 1996).

A escolha do método mais adequado depende do número de ambientes disponíveis, da precisão requerida e do tipo de informação desejada (CRUZ; REGAZZI, 1997). Alguns métodos são alternativos, enquanto que outros são

complementares, podendo ser utilizados conjuntamente. Quando há concordância entre os métodos, em relação aos parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade, os de simples execução e de fácil interpretação serão preferidos. No entanto, quando há discordância entre os métodos, a indicação das cultivares vai depender do método utilizado e, nesse caso, a opção será pelo método mais eficiente (CARGNELUTTI FILHO et al., 2007; CARGNELUTTI FILHO et al., 2009a).

Comparações entre metodologias de análise de adaptabilidade e de estabilidade têm sido realizadas por Miranda et al. (1998), Silva e Duarte (2006), Cargnelutti Filho et al. (2007), Melo et al. (2007), Cargnelutti Filho et al. (2009a) e Pereira et al. (2009b). Em feijão, Miranda et al. (1998) compararam os parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade de métodos baseados em análise de regressão linear simples (FINLAY; WILKINSON, 1963; EBERHART; RUSSELL, 1966 e TAI, 1971) e em regressão bissegmentada (VERMA et al., 1978 e CRUZ et al., 1989) e verificaram resultados contraditórios entre os métodos de Finlay e Wilkinson (1963) com os demais. Também, observaram perfeita correlação entre os métodos de Eberhart e Russell (1966) e Tai (1971), e que o método de Cruz et al. (1989) é mais adequado do que o método de Verma et al. (1978), pois permite avaliar o comportamento bissegmentado das cultivares de forma mais fácil.

Outro trabalho que comparou metodologias em feijão foi realizado por Melo et al. (2007). Esses autores, ao avaliarem 20 genótipos de grãos com tegumento preto, carioca, roxo, jalo e rajado, em 22 ambientes, na época das águas (safra) e na seca (safrinha), durante os anos de 2002, 2003 e 2004, nos Estados do Paraná, de Santa Catarina e de São Paulo, verificaram baixa associação entre os métodos AMMI e Lin e Binns (1988) ($r_s = 0,39$) e AMMI e Eberhart e Russell (1966) ($r_s = 0,40$) e ausência de correlação entre Lin e Binns (1988) e Eberhart e Russell (1966) ($r_s = 0,29^{ns}$). Porém cabe ressaltar que neste trabalho as médias de produtividade de grãos não foram tomadas como parâmetro na indicação de cultivares.

Pereira et al. (2009b) avaliaram a produtividade de grãos de 16 genótipos de feijão, durante os anos de 2003 e de 2004, em 71 experimentos conduzidos nos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Paraná, Santa Catarina, São Paulo e Distrito Federal. Observaram que os métodos de Cruz et al. (1989) e de Eberhart e Russel (1966) apresentaram forte correlação entre si ($r_s = 0,75$) e alta correlação foi verificada entre as metodologias de Lin e Binns (1988), Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) e Annicchiarico (1992). Correlações

intermediárias foram observadas entre os métodos de Eberhart e Russel (1966) e a análise AMMI ($r_s = 0,67$).

Contudo, quando Pereira et al. (2009b) consideraram as médias de produtividade de grãos como parâmetro na indicação de cultivares, estes verificaram alteração na correlação entre as metodologias. O uso conjunto da análise AMMI com os métodos de Lin e Binns (1988), de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) e de Annicchiarico (1992) passou a ser contra-indicado, sendo o mesmo ocorreu entre o método de Eberhart e Russel (1966) e de Lin e Binns (1988). Assim, percebe-se algumas divergências no grau de associação entre alguns métodos e a carência de trabalhos que comparam metodologias de adaptabilidade e de estabilidade na cultura do feijão, principalmente, os que utilizam as médias de produtividade de grãos como parâmetro para indicar cultivares.

Face ao exposto, o objetivo desse trabalho foi verificar a associação entre métodos de adaptabilidade e de estabilidade para a produtividade de grãos em feijão e identificar cultivares mais promissoras para o cultivo no Estado do Rio Grande do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de produtividade de grãos foram obtidos de experimentos de competição de cultivares de feijão conduzidos durante os anos agrícolas de 2000 a 2009, em dez municípios do Estado do Rio Grande do Sul (RS), em cultivo de safra e de safrinha (Figura 1). Na safra, a semeadura foi realizada durante os meses de outubro e novembro, dependendo do ano e do local de cultivo. Na safrinha, a semeadura foi efetuada no mês de janeiro.

No município de Santa Maria ($53^{\circ}43'W$ - $29^{\circ}42'S$), nove experimentos foram realizados no cultivo de safra (2000/01, 2001/02, 2002/03, 2003/04, 2004/05, 2005/06, 2006/07, 2007/08 e 2008/09) e cinco experimentos, no cultivo de safrinha (2001, 2002, 2003, 2004 e 2008). Na safra 2004/05 e 2005/06, os experimentos foram conduzidos nos municípios de Frederico Westphalen ($53^{\circ}23'W$ - $27^{\circ}21'S$), Júlio de Castilhos ($53^{\circ}40'W$ - $29^{\circ}13'S$), Maquiné ($50^{\circ}12'W$ - $29^{\circ}40'S$), Pelotas

(52°10'W - 31°70'S) e Santo Augusto (53°46'W - 27°51'S). Na safra 2004/05, o experimento também foi instalado em São Borja (56°00'W - 28°39'S) e na safra 2006/07, os experimentos foram conduzidos em Maquiné, Palmeira das Missões (53°18'W - 27°53'S), Pelotas, Santo Augusto, Vacaria (50°56'W - 28°30'S) e Veranópolis (51°31'W - 28°56'S).

Os experimentos conduzidos em Santa Maria foram de responsabilidade da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e os experimentos de Frederico Westphalen e de Pelotas foram coordenados pela Embrapa Clima Temperado. A Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) foi responsável pela condução dos experimentos nos municípios de Júlio de Castilhos, Maquiné, Palmeira das Missões, São Borja, Santo Augusto, Vacaria e Veranópolis.

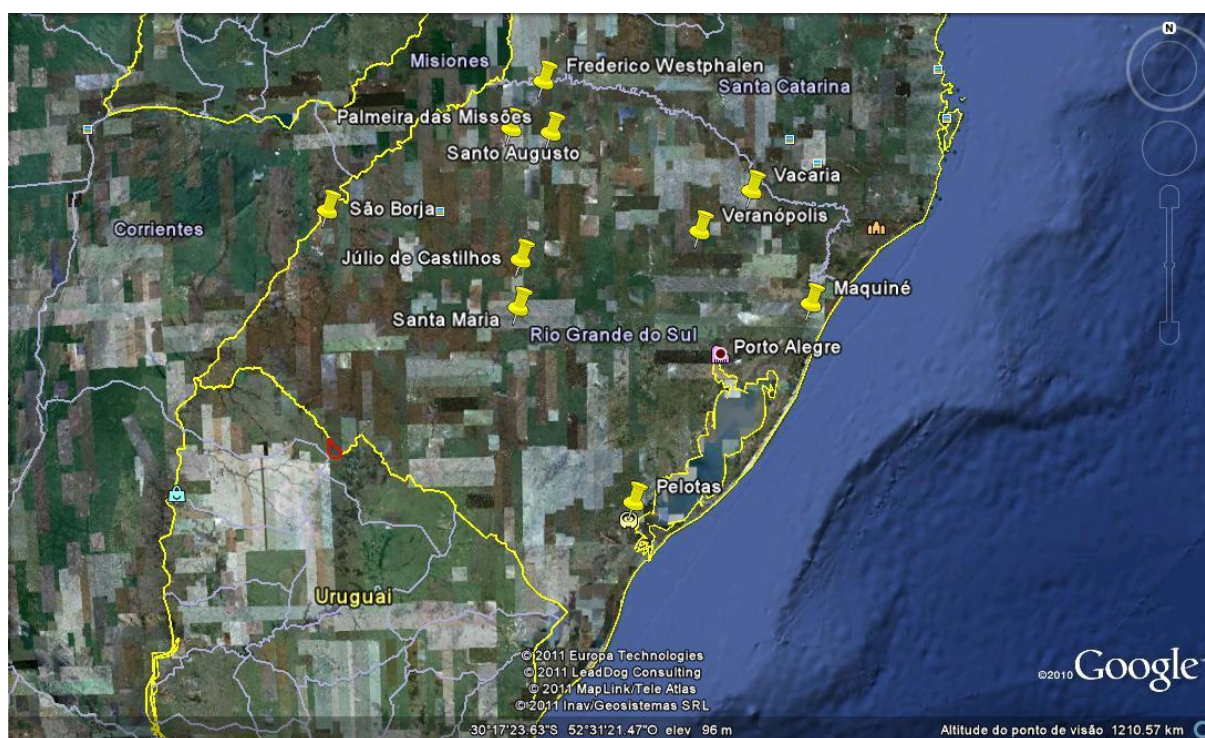


Figura 1 – Municípios do Estado do Rio Grande do Sul onde foram realizados os ensaios de cultivares de feijão, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008. Santa Maria - RS, UFSM, 2011.

A partir da análise de variância individual do conjunto de dados dos 31 ambientes foram eliminados sete experimentos (Santa Maria - safrinhas 2002 e 2003

e safra 2008/09; Júlio de Castilhos - safras 2004/05 e 2005/06; Pelotas - safras 2005/06 e 2006/07) (Apêndice A). A exclusão desses ambientes foi baseada em quatro parâmetros: baixa produtividade de grãos (inferior a média de produtividade de grãos verificada para o Estado do RS no período considerado), alto coeficiente de variação (superior a 30%), baixo valor do teste F para genótipo - F_c (inferior a 1,60) e baixa herdabilidade (inferior a 0,40).

Os experimentos conduzidos em Santa Maria - na safrinha 2002 e na safra 2008/09, e em Júlio de Castilhos - na safra 2005/06, foram eliminados em função da baixa produtividade de grãos observada, 713 kg ha^{-1} , 620 kg ha^{-1} e 637 kg ha^{-1} , respectivamente, quando comparada a obtida no Estado do Rio Grande do Sul para o mesmo período (1.000 kg ha^{-1} , 1.100 kg ha^{-1} e 935 kg ha^{-1} , respectivamente) (CONAB, 2010). Por sua vez, os experimentos conduzidos em Santa Maria - na safrinha 2003, e em Júlio de Castilhos - na safra 2004/05, também foram descartados em virtude da baixa produtividade de grãos (253 kg ha^{-1} e 307 kg ha^{-1} , respectivamente), quando comparada à média estadual (360 kg ha^{-1} e 730 kg ha^{-1} , respectivamente) (CONAB, 2010) e devido aos elevados valores de coeficientes de variação obtidos (35% e 40%, respectivamente). Adicionalmente, o baixo valor do teste F para genótipo (1,39) e de herdabilidade (0,28) contribuíram para a eliminação do experimento de Júlio de Castilhos, safra 2004/05. Essas duas últimas estatísticas também foram os motivos da remoção do ambiente Pelotas - safra 2005/06 e o alto coeficiente de variação (34%) foi o fator de eliminação do experimento conduzido em Pelotas, na safra 2006/07. Assim, a análise conjunta foi realizada com os dados de 24 ambientes.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com três repetições. As parcelas foram constituídas de quatro linhas de 4 m de comprimento, espaçadas em 0,5 m, com uma área útil de 3 m^2 , até a safra 2005/06. Após esta safra, as parcelas foram de duas linhas de 4 m de comprimento, espaçadas em 0,5 m, com uma área útil de 4 m^2 . A densidade de semeadura foi ajustada de acordo com o hábito de crescimento das cultivares, conforme a recomendação da Comissão Estadual de Pesquisa em Feijão (CEPEF, 2007).

O número de cultivares avaliadas foi variável em função do ano agrícola, do local de cultivo e da disponibilidade de sementes. No entanto, 12 cultivares foram comuns: Carioca, Diamante Negro, Guapo Brilhante, Guateian 6662, Iraí, IAPAR 44, Macanudo, Macotaço, Minuano, Pérola, Tio Tibagi e TPS Nobre. As cultivares

Carioca e Pérola são do tipo carioca, a Iraí é do tipo manteigão e as demais cultivares pertencem ao grupo comercial preto. O Centro Nacional de Pesquisa em Arroz e Feijão é obtentor das cultivares Diamante Negro e Pérola, a FEPAGRO das cultivares Guateian 6662, Rio Tibagi e Iraí, a Francisco Terasawa Sementes da cultivar TPS Nobre, o Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado das cultivares Minuano, Guapo Brilhante, Macanudo e Macotaço, o Instituto Agrônomo de Campinas da cultivar Carioca e o Instituto Agrônomo do Paraná da cultivar IAPAR 44.

O solo foi preparado de maneira convencional. A correção da acidez do solo (calagem) foi realizada quando necessária, aproximadamente, três meses antes da semeadura. A adubação com nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) foi realizada no momento da semeadura e a adubação de cobertura (adubação nitrogenada) foi efetuada no estágio V3 (primeira folha trifoliolada expandida), conforme recomendação da CEPEF (2007). As quantidades de calcário e de fertilizantes necessárias foram calculadas a partir da interpretação da análise química do solo, conforme a recomendação do Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina – MAC (CQFS, 2004).

O controle de insetos-pragas foi realizado com a aplicação de Metamidofós e o controle de plantas daninhas foi manual, com enxada, sempre que necessário, com o objetivo de evitar a competição entre a cultura e as plantas daninhas. O controle de doenças não foi realizado.

Na maturação foi realizada a colheita e a trilha das plantas. O produto obtido em cada parcela foi pesado e, por extrapolação, foi determinada a produtividade de grãos (kg ha^{-1}), a 13% de umidade média. Os dados de produtividade de grãos foram submetidos à análise de variância individual e, posteriormente, à análise conjunta de variância, esta realizada somente com as cultivares comuns nos 24 experimentos. O efeito de cultivares foi considerado fixo e os demais como aleatório (bloco, ambiente, interação GxA e erro experimental). A homogeneidade das variâncias residuais foi verificada pela relação entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo ($\text{QMr+}/\text{QMr-}$) (teste F máximo de Hartley), adotando-se o critério prático dessa relação não ultrapassar a proporção de 7:1 (CRUZ; REGAZZI, 1997). Devido a heterocedasticidade detectada, procedeu-se o ajuste dos graus de liberdade do erro médio e da interação GxA, conforme Cochran (1954 apud Gomes,

1990), para a interpretação correta dos testes de hipóteses e para a apresentação adequada da análise de variância conjunta.

Para a obtenção das estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade foram adotados cinco métodos: Eberhart e Russell (1966), Cruz et al. (1989), AMMI (ZOBEL et al., 1988), Lin e Binns (1988) modificado (original com decomposição de P_i) e Annicchiarico (1992). As análises foram realizadas no aplicativo Genes (CRUZ, 2001), exceto a análise AMMI, a qual foi realizada no aplicativo Estabilidade (FERREIRA, 2000).

A metodologia proposta por Eberhart e Russell (1966) é baseada em análise de regressão simples. Assim, para cada genótipo foi realizada uma análise de regressão, utilizando-se o índice ambiental como variável independente e a produtividade de grãos como variável dependente. O modelo de regressão linear foi dado por: $Y_{ij} = \beta_{0i}I_j + \beta_{1i}I_j + \delta_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$, em que:

Y_{ij} : média de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) do genótipo i , no ambiente j ;

β_{0i} : média geral do genótipo i ;

β_{1i} : coeficiente de regressão linear;

δ_{ij} : variância dos desvios da regressão;

$\bar{\epsilon}_{ij}$: erro experimental médio;

I_j : índice ambiental codificado ($\sum I_j = 0$);

Sendo que, o índice ambiental foi estimado por: $I_j = \frac{1}{g} \sum_i Y_{ij} - \frac{1}{ag} Y$, para g

genótipos e a ambientes. As estimativas de I_j indicam a qualidade dos ambientes avaliados e permitem a classificação dos mesmos. Valores negativos de I_j caracterizam ambientes desfavoráveis que, normalmente, estão associados a regiões com condições edafoclimáticas desfavoráveis ao crescimento e ao desenvolvimento da cultura, com baixo emprego de tecnologia e de insumos agrícolas. Valores positivos de I_j caracterizam ambientes favoráveis, regiões onde as condições edafoclimáticas são melhores, onde há emprego de tecnologia, mecanização e insumos agrícolas, sendo realizado um manejo mais adequado da cultura (CRUZ; REGAZZI, 1997).

No método de Eberhart e Russell (1966), a estimativa do parâmetro β_{1i} e a produtividade média de grãos (β_{0i}) são os parâmetros utilizados para determinar a adaptabilidade ou a resposta linear aos ambientes e a variância dos desvios da regressão (σ_{di}^2) faz referência à estabilidade dos genótipos.

A metodologia de Cruz et al. (1989), assim como a de Eberhart e Russell (1966), é baseada em análise de regressão. No entanto, utiliza um modelo linear bissegmentado. A resposta linear aos ambientes desfavoráveis foi dada pela estimativa de β_{1i} , e a resposta aos ambientes favoráveis por $\beta_{1i} + \beta_{2i}$. A estabilidade dos genótipos foi avaliada pelos desvios da regressão (σ_{di}^2) de cada genótipo, em função das variações ambientais. Para tanto, foi adotado 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; e $T(I_j) = 0$, se $I_j < 0$ e $T(I_j) = I_j - \bar{I}_+$, se $I_j > 0$, em que \bar{I}_+ é a média dos índices I_j positivos.

A análise AMMI (ZOBEL et al., 1988) baseia-se na análise de componentes principais, a partir dos efeitos da interação considerados multiplicativos. O modelo AMMI utilizado é descrito por: $Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{k=1}^a \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$, em que:

Y_{ij} : resposta média do genótipo i ($i = 1, 2, \dots, g$ genótipos) no ambiente j ($j = 1, 2, \dots, A$ ambientes);

μ : média geral dos ensaios;

g_i : efeito fixo do genótipo i ;

a_j : efeito fixo do ambiente j ;

λ_k : k -ésimo valor singular (escalar) da matriz de interações original (denotada por GA);

γ_{ik} : elemento correspondente ao i -ésimo genótipo, no k -ésimo vetor singular coluna da matriz GA;

α_{jk} : elemento correspondente ao j -ésimo ambiente, no k -ésimo vetor singular linha da matriz GA;

ρ_{ij} : ruído associado ao termo $(ga)_{ij}$ da interação clássica do genótipo i com o ambiente j ;

$\bar{\varepsilon}_{ij}$: erro experimental médio.

Esse método produziu escores de componentes principais de interação para cada genótipo ($IPCA_i$), que refletiram a sua contribuição para a interação GxA. Na análise de componentes principais, a variação contida nos componentes significativos é chamada de “padrão”, e a contida nos componentes não significativos, de “ruído”. O descarte do “ruído” melhora a capacidade preditiva do modelo. Para seleção do modelo AMMI mais adequado foi utilizado o teste F de Gollob (GOLLOB, 1968). A interpretação da estabilidade no biplot AMMI foi realizada a partir da distância dos pontos representativos dos genótipos e ambientes ao escore zero. Assim, esses pontos que pouco contribuíram para a interação apresentaram menor distância, indicando maior estabilidade. Deste modo, o genótipo com menor escore, em valor absoluto, foi o mais estável.

O método de Lin e Binns (1988) é baseado em estatística não-paramétrica, na qual o genótipo é comparado a performance máxima de cada ambiente. A medida de estabilidade é dada pelo quadrado médio da distância entre a média do genótipo e a resposta média máxima obtida no ambiente. Desde que a resposta máxima esteja no limite superior em cada ambiente, o menor quadrado médio indicará superioridade geral do genótipo. Esta medida de superioridade foi dada por:

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^a (Y_{ij} - M_j)^2}{2a}, \text{ em que:}$$

P_i : estimativa do parâmetro de estabilidade do i-ésimo genótipo;

Y_{ij} : produtividade do i-ésimo genótipo no j-ésimo ambiente;

M_j : resposta máxima observada entre todos os genótipos no j-ésimo ambiente;

a: número de ambientes.

Carneiro (1998) modificou a metodologia de Lin e Binns (1988) e entre os métodos propostos por esse autor, foi utilizado o original com decomposição de P_i nas partes devidas a ambientes favoráveis (P_{if}) e desfavoráveis (P_{id}). Os índices ambientais, obtidos pela diferença entre a média dos genótipos avaliados em cada local e a média geral, foram utilizados na classificação dos ambientes. Ambientes favoráveis se caracterizam por índices positivos, incluindo o valor 0. Neste caso, o P_{if} foi estimado por equação semelhante a anterior, substituindo-se o termo $2a$ por

2f, em que f é o número de ambientes favoráveis. Da mesma forma, foi feita a classificação dos ambientes desfavoráveis, cujos índices são negativos, substituiu-se o termo 2a por 2d, em que d é o número de ambientes desfavoráveis.

O índice proposto por Annicchiarico (1992) para a indicação de cultivar, baseado em análise de variância, é denominado de índice de recomendação, o qual considera a probabilidade de risco de um determinado genótipo apresentar desempenho abaixo da média do ambiente. Neste caso, as médias dos genótipos foram expressas em termos de uma porcentagem dos valores médios de ambientes. A média e o desvio padrão de cada cultivar foram calculados para todos os ambientes com base nesta transformação. O índice ω_i representa a estimativa da produtividade de grãos mais baixa, expressa como porcentagem da média ambiental, obtida com probabilidade $1 - \alpha$, para a cultivar i : $\omega_{i(g)} = \hat{\mu}_{i(g)} - z_{(1-\alpha)} \hat{\sigma}_{z_{i(g)}}$, em que:

$\hat{\mu}_{i(g)}$: média percentual dos genótipos i em relação à média geral;

$\hat{\sigma}_{z_{i(g)}}$: desvio-padrão dos valores z_{ij} , associado ao i -ésimo genótipo;

$z_{(1-\alpha)}$: percentil da função de distribuição normal padrão.

Esse índice também foi calculado para os ambientes favoráveis (ω_{if}) e desfavoráveis (ω_{id}). O coeficiente de confiança adotado foi de 75%, isto é, $\alpha = 0,25$.

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. Para tanto, as cultivares foram classificadas com base nos parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade de cada método. O aplicativo computacional Bioestat (AYRES et al., 2007) foi utilizado para rodar a análise de correlação.

Na metodologia proposta por Eberhart e Russell (1966), as cultivares foram classificadas pelos parâmetros: média de produtividade de grãos, β_{1i} e σ_{di}^2 . A cultivar que recebeu a classificação 1 possuía a maior média de produtividade de grãos, o menor desvio de β_{1i} em relação a 1 e o menor valor absoluto de σ_{di}^2 . No caso de desvios de β_{1i} em relação a 1 de mesma magnitude e sinais diferentes, a cultivar com desvio positivo recebia um número de classificação menor que a cultivar com desvio negativo. Quando os desvios de β_{1i} em relação a 1 eram de mesma magnitude, porém de sinais iguais, a cultivar com maior média de produtividade de

grãos recebia um número de classificação menor de que aquela com menor média de produtividade de grãos. Ao final, foram calculadas as médias dos três parâmetros para cada cultivar, sendo novamente realizado um ranqueamento, onde a cultivar com menor valor absoluto recebeu a classificação 1, e esta foi realizada até o g-ésimo genótipo. No caso de empate, o critério da média de produtividade de grãos era novamente utilizado, sendo que o menor número de classificação era atribuído a cultivar que apresentava a maior média de produtividade de grãos.

Os parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade: média de produtividade de grãos, β_{1i} , $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ e σ_{di}^2 foram utilizados para classificar as cultivares pelo método de Cruz et al. (1989). Recebia a classificação 1 a cultivar que apresentava a maior média de produtividade de grãos e menores valores absolutos de β_{1i} e σ_{di}^2 e maiores de $\beta_{1i} + \beta_{2i}$. De forma idêntica ao método de Eberhart e Russell (1966), as médias dos parâmetros de cada cultivar foram classificadas, adotando-se a média de produtividade de grãos como critério de desempate.

Na análise AMMI, a média de produtividade de grãos e os escores dos três primeiros componentes principais foram utilizados como parâmetro para a classificação das cultivares. Primeiramente, as cultivares foram classificadas de acordo com a média da produtividade de grãos, como já mencionado nos métodos anteriores. Posteriormente, os valores de escores dos três componentes principais para cada cultivar foram somados e dividindo-se pelo número de componentes principais envolvidos na análise, obtendo-se a média dos escores. A partir da classificação das cultivares pela média de produtividade de grãos e a média dos escores dos componentes principais, obteve-se um valor médio para cada cultivar, sendo que a cultivar 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 cultivar que contribuiu menos para interação GxA (menor valor) recebia um número de classificação menor do que as cultivares com valores maiores de média dos escores.

Nos métodos de Lin e Binns (1988) modificado e de Annicchiarico (1992) as cultivares foram ordenadas de acordo os parâmetros de estabilidade para ambientes em geral (P_i e ω_i , respectivamente), favoráveis (P_{if} e ω_{if} , respectivamente) e desfavoráveis (P_{id} e ω_{id} , respectivamente). A cultivar com menor e com maior estimativa dos parâmetros, respectivamente, recebia a classificação 1, e esta era realizada até o g-ésimo genótipo. Após esse procedimento foi calculada a média dos

três parâmetros para cada cultivar, para ambos os métodos, e novamente, foi feito o ranqueamento das cultivares, de forma idêntica ao descrito anteriormente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de variância individual, realizada com os dados de produtividade de grãos obtidos em cada ambiente, inclusive com aquelas cultivares que não foram consideradas na análise conjunta, verificou-se que as cultivares diferiram significativamente ($p \leq 0,05$), com exceção do experimento conduzido no município de Santa Maria, na safra 2001/02 (ambiente 3-1) (Tabela 1). A produtividade de grãos variou de 902 kg ha⁻¹ (Santa Maria - safra 2004; ambiente 6-1) a 3.256 kg ha⁻¹ (Veranópolis - safra 2006/07; ambiente 9-9), representando uma oscilação de 39 sacas de feijão, aproximadamente, entre o local de menor e de maior produção.

O coeficiente de variação oscilou de 9% (Santa Maria - safra 2004/05, ambiente 7-1; Pelotas - safra 2004/05, ambiente 7-4 e Santo Augusto – safra 2005/06, ambiente 8-5), a 27% (Santa Maria – safra 2007/08, ambiente 10-1) (Tabela 1). Valores inferiores ou iguais a 25% são compatíveis com o que é exigido pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA, para o registro de novas cultivares de feijão no Serviço Nacional de Registro de Cultivares - SNRC (BRASIL, 2006). Conforme a classificação proposta por Lúcio et al. (1999), esses experimentos apresentaram alta precisão experimental. A avaliação do coeficiente de variação como medida de precisão experimental é realizada em diversas culturas; no entanto, é mais adequado para a classificação de experimentos com médias semelhantes, pois está associado à média e à variância residual, ou seja, quanto menor for a média de produtividade de grãos e maior a variância residual, maior será o coeficiente de variação (CARGNELUTTI FILHO; STORCK, 2007).

Cargnelutti Filho et al. (2009b) verificaram que a avaliação da precisão experimental em experimentos de competição de genótipos de feijão e de soja pelas estatísticas herdabilidade (h^2), acurácia seletiva, coeficiente de determinação e valor do teste F para genótipo são mais adequadas que o coeficiente de variação, uma

vez que, estão associadas a maiores variâncias genéticas e a menores variâncias residuais e independem da média do experimento.

Tabela 1 – Resumo das análises de variância individuais dos dados de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) dos 24 experimentos de competição de cultivares de feijão conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008. Santa Maria - RS, UFSM, 2011.

Ambiente Ano ⁽¹⁾ - Local ⁽²⁾	Cultivares (n°)	QMg ⁽³⁾	QMe ⁽⁴⁾	Média ⁽⁵⁾ kg ha^{-1}	CV ⁽⁶⁾ %	F _c ⁽⁷⁾	h ²⁽⁸⁾
1-1	16	526.043*	103.571	1.850	17	5,08	0,80
2-1	16	280.308*	42.732	916	23	6,56	0,85
3-1	19	358.611 ^{ns}	204.405	2.393	19	1,75	0,43
4-1	19	1.007.625*	122.115	1.864	19	8,25	0,88
5-1	19	158.785*	57.990	1.987	12	2,74	0,63
6-1	20	107.259*	35.986	902	21	2,98	0,66
7-1	18	391.900*	31.190	1.969	9	12,57	0,92
7-2	19	1.445.528*	486.889	3.079	23	2,97	0,66
7-3	20	526.337*	19.416	1.346	10	27,11	0,96
7-4	19	105.060*	40.697	2.153	9	2,58	0,61
7-5	17	58.938*	9.385	1.007	10	6,28	0,84
7-6	17	243.762*	33.516	1.142	16	7,27	0,86
8-1	21	437.075*	165.269	2.351	17	2,64	0,62
8-2	20	219.921*	78.091	1.479	19	2,82	0,64
8-3	19	463.990*	135.840	1.996	18	3,42	0,71
8-5	19	173.551*	31.484	2.074	9	5,51	0,82
9-1	19	640.810*	111.817	1.361	25	5,73	0,83
9-3	19	471.142*	229.624	2.798	17	2,05	0,51
9-7	19	73.169*	23.994	1.623	10	3,05	0,67
9-5	19	334.464*	57.276	1.598	15	5,84	0,83
9-8	19	550.105*	64.099	2.066	12	8,58	0,88
9-9	19	410.926*	182.073	3.256	13	2,26	0,56
10-1	20	327.391*	102.032	1.202	27	3,21	0,69
11-1	20	212.624*	77.730	2.127	13	2,74	0,63

⁽¹⁾Ano agrícola: 1- 2000/01; 2- 2001; 3- 2001/02; 4- 2002/03; 5- 2003/04; 6- 2004; 7- 2004/05; 8- 2005/06; 9- 2006/2007; 10- 2007/2008; 11- 2008 (safra: anos 1, 3, 4, 5, 7, 8, 9 e 10 e safrinha: anos 2, 6 e 11); ⁽²⁾Local: 1- Santa Maria; 2- Frederico Westphalen; 3- Maquiné; 4- Pelotas; 5- Santo Augusto; 6- São Borja; 7- Palmeira das Missões; 8- Vacaria; 9- Veranópolis. ⁽³⁾QMg: Quadrado médio de genótipos. ⁽⁴⁾QMe: Quadrado médio do erro. ⁽⁵⁾Média: média geral do experimento (kg ha^{-1}). ⁽⁶⁾CV: Coeficiente de variação (%). ⁽⁷⁾F_c: Valor do teste F para genótipo. ⁽⁸⁾h²: herdabilidade. ^{ns}Não-significativo. *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Os limites das classes de precisão experimental, em relação à produtividade de grãos, para as estatísticas herdabilidade (h²) e valor do teste F foram estabelecidas por Cargnelutti Filho e Storck (2009). Com base nessa classificação, um experimento foi considerado de precisão experimental moderada (h²: $\geq 0,25$ e $< 0,49$; F_c: $\geq 1,33$ e $< 1,96$) (Santa Maria - safra 2001/02), 13 experimentos de alta (h²:

$\geq 0,49$ e $< 0,81$; $F_c: \geq 1,96$ e $< 5,26$) (Santa Maria - safras 2000/01, 2003/04, 2005/06 e 2007/08 e safrinhas 2004 e 2008; Frederico Westphalen - safras 2004/05 e 2005/06; Pelotas - safra 2005/06; Maquiné - safras 2005/06 e 2006/07; Palmeira das Missões - safra 2006/07; Veranópolis - safra 2006/07) e 10 experimentos como de muito alta precisão experimental ($h^2: \geq 0,81$; $F_c: \geq 5,26$) (Santa Maria - safras 2002/03, 2004/05 e 2006/07 e safrinha 2001; Maquiné - safra 2004/05; Santo Augusto - safras 2004/05, 2005/06 e 2006/07; São Borja - safra 2004/05; Vacaria - safra 2006/07) (Tabela 1).

A classificação dos ambientes em favoráveis e desfavoráveis, através dos índices ambientais é apresentada na Figura 2. Nos ambientes desfavoráveis (índices ambientais negativos) a produtividade de grãos foi inferior a média geral (1.834 kg ha^{-1}), ao passo que, nos favoráveis (índices ambientais positivos) foi acima da média geral.

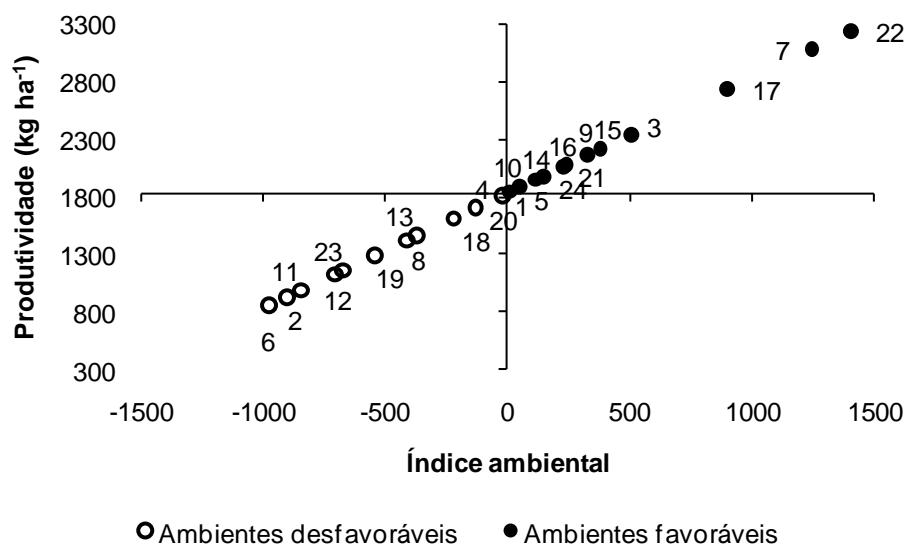


Figura 2 – Classificação dos 24 experimentos conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008, segundo o índice ambiental. Ambientes desfavoráveis (4, 19, 23, 2 e 6, Santa Maria - safras 2002/03, 2006/07 e 2007/08 e safrinhas 2001 e 2004, respectivamente; 8, Maquiné - safra 2004/05; 11 e 20, Santo Augusto - safras 2004/05 e 2006/07, respectivamente; 12, São Borja - safra 2004/05; 13, Frederico Westphalen - safra 2005/06; 18, Palmeira das Missões - safra 2006/07) e ambientes favoráveis (1, 3, 5, 10, 15 e 24, Santa Maria - safras 2000/01, 2001/02, 2003/04, 2004/05 e 2005/06 e safrinha 2008; 7, Frederico Westphalen - safra 2004/05; 9, Pelotas - safra 2004/05; 14 e 17, Maquiné - safra 2005/06 e 2006/07; 16, Santo Augusto - safra 2005/06; 21, Vacaria - safra 2006/07; 22, Veranópolis - safra 2006/07) para o cultivo de feijão. Santa Maria - RS, UFSM, 2011.

A produtividade de grãos das cultivares comuns aos 24 ambientes variou de 1.600 kg ha⁻¹ (Iraí) a 2.053 kg ha⁻¹ (Minuano) (Figura 3), sendo que as cultivares Minuano, TPS Nobre, Guapo Brilhante, Macanudo, Carioca e Macotaço superaram a média geral da produtividade de grãos (1.834 kg ha⁻¹) (Tabela 2). Os demais dados de produtividade de grãos das cultivares que não constam na análise conjunta e os dados de produtividade de grãos das 12 cultivares comuns em ambientes favoráveis e desfavoráveis são apresentados em apêndice (Apêndice B e C, respectivamente).

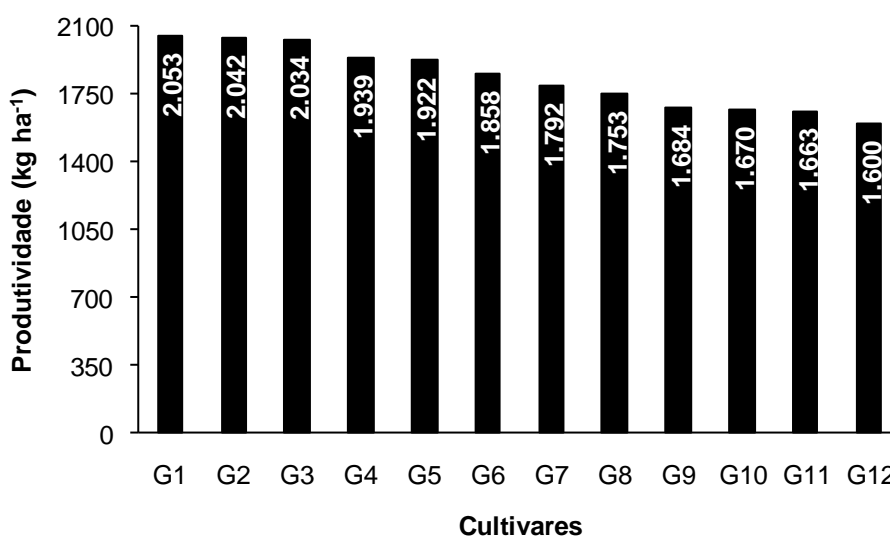


Figura 3 – Produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 12 cultivares de feijão (G1, Minuano; G2, TPS Nobre; G3, Guapo Brilhante; G4, Macanudo; G5, Carioca; G6, Macotaço; G7, Guateian 6662; G8, Diamante Negro; G9, IAPAR 44; G10, Rio Tibagi; G11, Pérola; G12, Iraí), avaliadas em 24 experimentos conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008. Santa Maria - RS, UFSM, 2011.

Na análise de variância conjunta da produtividade de grãos observaram-se efeitos significativos, a 5% de probabilidade de erro, para genótipos, ambientes e interação GxA (Tabela 2). Isto é indicativo da existência de: (1) variabilidade genética, permitindo a seleção de genótipos superiores, (2) variabilidade para ambientes, que é atribuída às condições edafoclimáticas pertinentes a cada local, ano agrícola e época de semeadura e (3) resposta diferencial dos genótipos em função da variação do ambiente.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância conjunta e da análise AMMI para a produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 12 cultivares de feijão, avaliadas em 24 experimentos conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008. Santa Maria - RS, UFSM, 2011.

Fontes de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio
Blocos/Ambientes	48	707.869
Genótipos (G)	11	1.915.751 *
Ambientes (A)	23	14.365.466 *
GxA	141	723.391 *
CP 1	33	993.301 *
CP 2	31	778.469 *
CP3	29	481.739 *
Desvios	160	194.475 ^{ns}
Resíduo	289 ⁽¹⁾	193.067
Total	863	-
Média		1.834
CV (%)		24

⁽¹⁾Graus de liberdade ajustados (Cochran, 1954, apud Gomes, 1990). ^{ns}Não-significativo. *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Na cultura do feijão, interação GxA significativa para a produtividade de grãos tem sido observada por diversos autores (DUARTE; ZIMMERMANN, 1994; COSTA et al., 1997; PIANA et al., 1999; BORGES et al., 2000; CARBONELL; POMPEU, 2000; CARBONELL et al., 2001; RIBEIRO et al., 2004; BACKES et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2006; CARBONELL et al., 2007; MELO et al., 2007; RIBEIRO et al., 2008; GONÇALVES et al., 2009; PEREIRA et al., 2009a; PEREIRA et al., 2009b; RIBEIRO et al., 2009; PERINA et al., 2010). A ocorrência desse fenômeno gera a necessidade de um estudo mais pormenorizado do comportamento dos genótipos nos vários ambientes, o qual é obtido através das análises de adaptabilidade e de estabilidade.

As estimativas de adaptabilidade e de estabilidade para a produtividade de grãos, relativas a cada método, são apresentadas nas Tabelas 3 e 5. Pelo método de Eberhart e Russell (1966), as cultivares Carioca e Guateian 6662 apresentaram adaptação específica a ambientes favoráveis ($\beta_{1i} > 1$) e a cultivar Iraí, adaptação específica a ambientes desfavoráveis ($\beta_{1i} < 1$) (Tabela 3). A cultivar Carioca (1.922

kg ha⁻¹) produziu acima da média geral (1.834 kg ha⁻¹), portanto foi mais apropriada para ambientes melhorados do que a cultivar Guateian 6662 (1.792 kg ha⁻¹). Por sua vez, a cultivar Iraí foi a que apresentou a menor produtividade média de grãos (1.600 kg ha⁻¹) das 12 cultivares avaliadas.

As cultivares Minuano, TPS Nobre, Guapo Brilhante, Macanudo, Macotaço, Diamante Negro, IAPAR 44, Rio Tibagi e Pérola foram de adaptação geral às condições de cultivo do Estado do Rio Grande do Sul pelo método de Eberhart e Russell (1966), pois o coeficiente de regressão (β_{1i}) foi semelhante à unidade ($\beta_{1i}=1$), ou seja, essas cultivares modificaram seu comportamento de modo regular conforme as mudanças na qualidade do ambiente (Tabela 3).

A estabilidade, quando verificada pelos desvios da regressão, indicou apenas a cultivar Guateian 6662 (não significativo) como estável e a cultivar Iraí como a mais instável (significativo e de maior magnitude). Entretanto, nos métodos baseados em análise de regressão, o coeficiente de variação (R^2) pode ser considerado como uma medida auxiliar de estabilidade (CRUZ; REGAZZI, 1997). De acordo com esses autores, genótipos com R^2 superiores a 80%, embora apresentem desvios da regressão significativos, podem ser considerados de previsibilidade tolerável ou aceitável. Assim, as cultivares TPS Nobre, Carioca, Diamante Negro, Rio Tibagi e Pérola passariam a apresentar previsibilidade de comportamento, mantendo sua produtividade de grãos pouco alterada em função do ambiente de cultivo a que foram submetidas no Estado do Rio Grande do Sul ao longo dos anos.

A cultivar ideal, segundo Eberhart e Russell (1966), é aquela que apresenta alta produtividade de grãos, coeficiente de regressão igual à unidade (ampla adaptabilidade) e desvio da regressão igual a zero (estabilidade alta). Nenhuma cultivar apresentou as três características simultaneamente, portanto não foi possível identificar uma cultivar ideal, a partir desse conjunto de dados (Tabela 3). O mesmo foi verificado por Piana et al. (1999), ao avaliar onze genótipos de feijão em 72 ambientes no Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 1988 a 1994. Entretanto, a utilização do método de Eberhart e Russell (1966) permitiu indicar cultivares ideais para o município de Santa Maria (Carioca, IAPAR 31, Minuano, PR 468 e TPS Bionobre) e para o Estado do Rio Grande do Sul (Guapo Brilhante) (RIBEIRO et al., 2004; RIBEIRO et al., 2009).

Tabela 3 – Estimativas de parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade fenotípica obtidas pelos métodos de Eberhart e Russel (1966), Cruz et al. (1989) e AMMI (ZOBEL et al., 1988), para 12 cultivares de feijão, avaliadas em 24 experimentos conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008. Santa Maria - RS, UFSM, 2011.

Cultivar	Média ⁽¹⁾	Eberhart e Russell (1966)				Cruz et al. (1989)					AMMI				
		β_{1i} ⁽²⁾	σ_{di}^2 ⁽³⁾	R ² (%)	C ⁽⁴⁾	β_{1i} ⁽²⁾	$\beta_{1i} + \beta_{2i}$ ⁽⁵⁾	σ_{di}^2 ⁽³⁾	R ₂ (%)	C ⁽⁴⁾	CP 1 ⁽⁶⁾	CP 2 ⁽⁶⁾	CP 3 ⁽⁶⁾	MEA ⁽⁷⁾	C ⁽⁴⁾
Minuano	2.053	1,00 ^{ns}	145.495 [*]	70	2	0,95 ^{ns}	1,10 ^{ns}	562.143 [*]	70	2	7,43	-32,62	-8,13	16,06	5
TPS Nobre	2.042	1,04 ^{ns}	56.154 [*]	83	1	1,00 ^{ns}	1,14 ^{ns}	282.455 [*]	83	1	15,04	2,09	13,22	10,12	1
Guapo Brilhante	2.034	0,90 ^{ns}	86.601 [*]	74	6	1,00 ^{ns}	0,64 [*]	349.954 [*]	76	7	18,59	4,66	-10,29	11,18	3
Macanudo	1.939	0,94 ^{ns}	115.650 [*]	71	8	0,95 ^{ns}	0,90 ^{ns}	473.568 [*]	71	6	-3,73	-1,48	-36,28	13,83	6
Carioca	1.922	1,13 [*]	64.971 [*]	84	9	1,03 ^{ns}	1,39 [*]	282.272 [*]	86	4	8,33	-15,25	19,83	14,47	9
Macotaço	1.858	1,03 ^{ns}	87.364 [*]	78	5	0,94 ^{ns}	1,25 [*]	360.495 [*]	80	3	-9,44	-19,51	6,20	11,72	7
Guateian 6662	1.792	1,18 [*]	15.931 ^{ns}	92	7	1,13 ^{ns}	1,30 [*]	153.167 ^{ns}	92	5	-10,47	-6,08	2,22	6,26	2
Diamante Negro	1.753	1,05 ^{ns}	26.376 [*]	88	3	1,08 ^{ns}	0,97 ^{ns}	190.755 [*]	88	8	-9,54	8,11	4,43	7,36	4
IAPAR 44	1.684	0,99 ^{ns}	147.343 [*]	69	10	0,97 ^{ns}	1,04 ^{ns}	572.589 [*]	69	9	-28,20	13,63	5,03	15,62	11
Rio Tibagi	1.670	0,94 ^{ns}	58.363 [*]	80	11	1,02 ^{ns}	0,71 [*]	268.962 [*]	81	10	-12,09	18,40	-0,86	10,45	10
Pérola	1.663	1,01 ^{ns}	45.286 [*]	84	4	1,03 ^{ns}	0,96 ^{ns}	251.828 [*]	84	11	-11,14	6,60	3,34	7,03	8
Iraí	1.600	0,80 [*]	227.345 [*]	50	12	0,88 ^{ns}	0,58 [*]	802.073 [*]	52	12	35,22	21,45	1,28	19,32	12

⁽¹⁾Produtividade média de grãos (kg ha⁻¹). ⁽²⁾H₀: $\beta_{1i} = 1$. ⁽³⁾H₀: $\sigma_{di}^2 = 0$. ⁽⁴⁾Classificação das cultivares com base nos parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade. ⁽⁵⁾H₀: $\beta_{1i} + \beta_{2i} = 1$. ⁽⁶⁾Escore absoluto dos três primeiros componentes principais (CP). ⁽⁷⁾Média dos escores absolutos. ^{ns}Não-significativo. ^{*}Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Divergências nos resultados obtidos pelo método de Eberhart e Russell (1966) são esperadas, pois nem todos os dados se ajustam ao modelo linear e, mesmo que isso aconteça, esse modelo pode não detectar pequenas diferenças. Contudo, é possível inferir que, das 12 cultivares avaliadas nos 24 experimentos no Estado do Rio Grande do Sul, apenas a cultivar TPS Nobre apresentou comportamento mais próximo ao ideal ao se considerar o R^2 na análise da estabilidade (Tabela 3). O comportamento fenotípico das 12 cultivares por esse método é apresentado no Apêndice D.

Pela metodologia de Cruz et al. (1989), nenhuma cultivar apresentou o desempenho preconizado como ideal (alta produtividade de grãos; alta estabilidade, σ_{di}^2 não significativo; baixa sensibilidade às condições adversas dos ambientes desfavoráveis, $\beta_{1i} < 1$ e capacidade de responder à melhoria do ambiente, $\beta_{1i} + \beta_{2i} > 1$) (Tabela 3). Resposta semelhante foi observada em experimentos de competição de cultivares de feijão conduzidos em outros Estados por Miranda et al. (1998), por Carbonell e Pompeu (2000), por Backes et al. (2005), por Oliveira et al. (2006) e por Pereira et al. (2009a). Entretanto, Carbonell et al. (2001) verificaram que a cultivar IAC-UMA foi considerada ideal para o cultivo no Estado de São Paulo, ao avaliar 12 genótipos de feijão em 24 ambientes, utilizando essa metodologia.

De acordo com Miranda et al. (1998), a dificuldade de identificação de cultivares ideais para o cultivo pelo método de Cruz et al. (1989) é atribuída a correlação positiva existente entre o β_{1i} e o $\beta_{1i} + \beta_{2i}$. Sendo que, o maior número de relações que devem ser feitas antes de indicar genótipos com comportamento ideal ou próximo ao ideal, quanto comparado a outros métodos, também pode contribuir para esta dificuldade.

Resposta linear constante aos ambientes desfavoráveis e favoráveis ($\beta_{1i} = 1$, $\beta_{1i} + \beta_{2i} = 1$) foi observada para as cultivares Minuano, TPS Nobre, Macanudo, Diamante Negro, IAPAR 44 e Pérola, indicando adaptabilidade geral às condições de cultivo no Estado do Rio Grande do Sul (Tabela 3). Sendo que, as cultivares Minuano, TPS Nobre e Macanudo superaram a média geral da produtividade de grãos. Quanto à estabilidade, as cultivares TPS Nobre, Diamante Negro e Pérola apresentaram previsibilidade de comportamento tolerável ($R^2 > 80\%$), apesar dos σ_{di}^2 significativos.

Ao considerar os critérios propostos por Cruz et al. (1989) para a indicação de genótipos a ambiente favoráveis e desfavoráveis, não foi possível a indicação de cultivares para condições específicas de ambientes. Entretanto, as cultivares Carioca e Macotaço foram as que mais se aproximaram do comportamento ideal para ambientes favoráveis, pois foram responsivas à melhoria do ambiente ($\beta_{1i} + \beta_{2i} > 1$), de previsibilidade tolerável ($R^2 > 80\%$) e produziram acima da média. A cultivar Guateian 6662 também poderia se enquadrar nessa categoria, se não fosse pela produtividade de grãos inferior a média geral. Observa-se que este método refina mais as informações sobre os genótipos do que o método de Eberhart e Russell (1966), como já observado por Oliveira et al. (2006) e por Pereira et al. (2009a).

Outro exemplo que comprova o verificado por Oliveira et al. (2006) e Pereira et al. (2009a) é o das cultivares Guapo Brilhante, Macotaço e Rio Tibagi, que se apresentaram como de adaptabilidade geral pelo método de Eberhart e Russell (1966), porém não tiveram o mesmo padrão de comportamento na metodologia de Cruz et al. (1989), pois demonstraram-se responsivas (Macotaço - $\beta_{1i} + \beta_{2i} > 1$) e não responsivas (Guapo Brilhante e Rio Tibagi - $\beta_{1i} + \beta_{2i} < 1$) à melhoria do ambiente (Tabela 3). Segundo Duarte e Zimmermann (1994), a regressão simples, embora seja de grande importância para o estudo da adaptação e da estabilidade fenotípica, é inferior à regressão linear bissegmentada quanto à capacidade de explicar a variação nos dados de produtividade de grãos. O comportamento fenotípico das 12 cultivares pelo método de Cruz et al. (1989) é apresentado no Apêndice E.

A previsibilidade de comportamento da cultivar Guateian 6662 e a maior instabilidade da cultivar Iraí verificadas pelo método Eberhart e Russell (1966), são confirmadas por Cruz et al. (1989) (Tabela 3). Para as demais cultivares obteve-se σ_{di}^2 estatisticamente diferente de zero, porém o grau de previsibilidade não deve comprometer a indicação de algumas cultivares que apresentaram R^2 acima de 80% (CRUZ; REGAZZI, 1997). De acordo com Mekbib (2002), o melhoramento para a estabilidade sob condições variáveis é complexo e dificultado pela pressão de seleção ser variável e não previsível nos diferentes ambientes.

De acordo com a análise AMMI, a interação GxA foi dividida em 11 componentes principais ou também denominados eixos singulares (Tabela 4). Contudo, apenas os três primeiros componentes foram significativos ($p \leq 0,05$)

(Tabela 2). Sendo, que o primeiro eixo singular (ou principal) de interação capturou 32,14% da soma de quadrados da interação GxA, o segundo 23,66% e o terceiro 13,70% (Tabela 4). Porcentagens estas superiores as que têm sido relatadas por diversos autores (BORGES et al., 2000; MELO et al., 2007; ROCHA et al., 2007; PEREIRA et al., 2009a). Assim, os três primeiros componentes principais, em conjunto, explicaram 69,49% da soma de quadrados da interação GxA, indicando que o modelo AMMI 3 foi suficiente para explicar os efeitos da interação.

Tabela 4 – Autovalores e porcentagem da explicação da soma de quadrados da interação GxA (SQ_{GxA}) para cada eixo dos componentes principais (CP) gerados pela análise AMMI. Santa Maria - RS, UFSM, 2011.

CP	Autovalores	Explicação da SQ_{GxA}/CP (%)	Proporção acumulada (%)
1	10.926.310	32,14	32,14
2	8.044.180	23,66	55,80
3	4.656.813	13,70	69,49
4	2.834.575	8,34	77,83
5	2.567.503	7,55	85,38
6	1.513.691	4,45	89,83
7	1.348.079	3,97	93,80
8	829.640	2,44	96,24
9	614.312	1,81	98,05
10	417.816	1,23	99,28
11	246.403	0,72	100,00

Além do modelo AMMI 3 ter explicado, aproximadamente, 70% da soma de quadrados da interação GxA, este foi mais adequado, pois associou significância para os eixos e não significância para os desvios (Tabela 2). Segundo Borges et al. (2000), componentes principais significativos com porcentagem de explicação da interação inferior a 70%, associados a desvios significativos, indicam que esses componentes são insuficientes para explicar os efeitos da interação.

A representação gráfica do modelo AMMI 3 é considerada difícil, pela necessidade de confeccionar um gráfico tridimensional. Em virtude disto, em alguns trabalhos tem se optado pelo modelo AMMI 2, mesmo quando o modelo AMMI 3 foi o mais adequado, ou outros modelos de ordem superior (MELO et al., 2007; ROCHA

et al., 2007; PEREIRA et al., 2009a). No entanto, Gonçalves et al. (2009) representaram o modelo AMMI 3 combinando os eixos principais, dois a dois, IPAC 1 x IPCA 2, IPCA 1 x IPCA 3. De forma similar a esses autores, os gráficos biplot foram confeccionados com os escores dos três primeiros componentes principais, sendo que o efeito de cada cultivar foi representado nos gráficos biplot AMMI 1 (Produtividade x IPCA 1), AMMI 2 (IPCA 1 x IPCA 2) e AMMI 3 (IPCA 1 x IPCA 3) (Figura 4).

No biplot AMMI 1, observou-se que as cultivares Macanudo (G4), Minuano (G1), Carioca (G5), Macotaço (G6) e Diamante Negro (G8) apresentaram as menores distâncias da origem do eixo IPCA1, conseqüentemente, foram as que menos contribuíram para a interação GxA e, portanto, foram as mais estáveis (Figura 4). No biplot AMMI 2, a estabilidade da cultivar Macanudo (G4) foi confirmada pela localização na região central (menores valores de escores para os dois componentes principais). Somada a produtividade de grãos superior da média geral, a cultivar Macanudo, expressou adaptabilidade geral, podendo ser cultivada em todos os ambientes estudados (Tabela 3). Ao passo que, no biplot AMMI 3, se confirmou a estabilidade das cultivares Minuano (G1) e Macotaço (G6).

As cultivares Minuano (G1), Carioca (G5), Macotaço (G6) e Diamante Negro (G8), embora aparentarem ser estáveis pela interpretação do biplot AMMI 1, foram instáveis pela interpretação do biplot AMMI 2. Já no biplot AMMI 3, apenas as cultivares Minuano (G1) e Macotaço (G6) continuaram apresentando um comportamento previsível; a cultivar Macanudo (G4), estável pelos biplots AMMI 1 e AMMI 2, mostrou comportamento instável no biplot AMMI 3 (Figura 4). Portanto, as cultivares indicadas diferiram dependendo da análise visual praticada em cada biplot.

A informação gerada pelo biplot AMMI 2 deve ser preferida para fins de indicação de cultivares, uma vez que é a mais confiável. Como o segundo biplot (AMMI 2) foi confeccionado com as informações dos IPCA 1 e IPCA 2, os quais explicaram em conjunto 55,80% da soma de quadrado da interação, este capitaram mais “padrão” que o primeiro biplot (AMMI 1), que considerou apenas o IPCA 1 (porcentagem de explicação da interação de 32,14%), e que o terceiro biplot (AMMI 3: IPCA 1 x IPCA 3) que explicou uma porcentagem menor da interação (45,84) (Tabela 2). Segundo Gauch e Zobel (1996), à medida que se eleva o número de eixos selecionados, se reduz o poder de predição da análise AMMI, pois se aumenta a porcentagem de “ruído”.

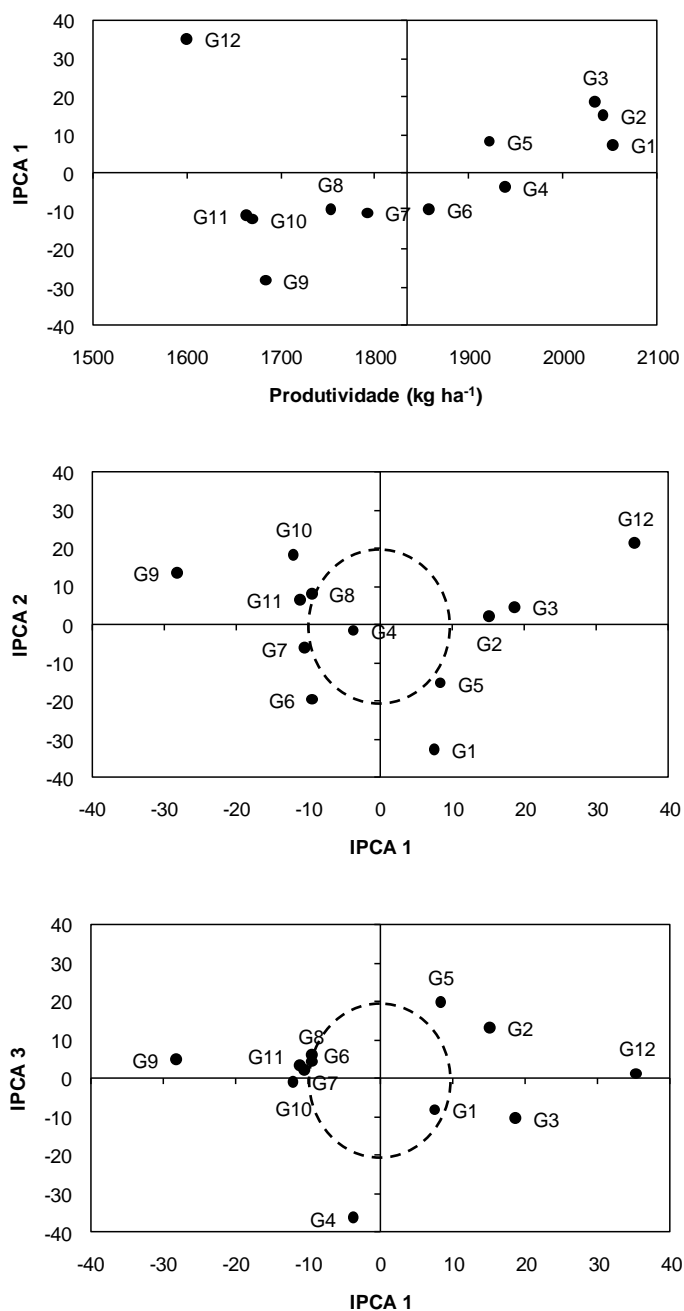


Figura 4 – Gráficos biplot de modelo AMMI 3, para dados de produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 12 cultivares de feijão (G1, Minuano; G2, TPS Nobre; G3, Guapo Brilhante; G4, Macanudo; G5, Carioca; G6, Macotaço; G7, Guateian 6662; G8, Diamante Negro; G9, IAPAR 44; G10, Rio Tibagi; G11, Pérola; G12, Iraí), avaliadas em 24 experimentos conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008. Biplot AMMI 1 - Primeiro componente principal (IPCA 1) x produtividade (kg ha⁻¹), biplot AMMI 2 - primeiro componente principal (IPCA 1) x segundo componente principal (IPCA 2) e biplot AMMI 3 - primeiro componente principal (IPCA 1) x terceiro componente principal (IPCA 3), respectivamente. Santa Maria - RS, UFSM, 2011.

As cultivares Minuano (G1), Carioca (G5) e Macotaço (G6), provavelmente, apresentam adaptação a ambientes favoráveis, pois configuraram no grupo com produtividade de grãos acima da média, e a cultivar Diamante Negro (G8) apresenta adaptação a ambientes desfavoráveis. E a cultivar Iraí (G12) foi a mais instável (maiores distâncias da origem do eixo em todos os biplots) e a que apresentou a menor produtividade de grãos (Figura 4 e Tabela 3).

A análise AMMI permite a identificação de genótipos adaptados a ambientes específicos, além das informações sobre estabilidade (MELO et al., 2007; ROCHA et al., 2007; SILVA FILHO et al., 2008; GONÇALVES et al., 2009). Cultivares e ambientes próximos no biplot apresentam interações específicas entre si. Deste modo, a cultivar Minuano (G1) apresentou adaptação específica a Frederico Westphalen - safra 2004/05 (7), a cultivar Guapo Brilhante (G3) a Santa Maria - safra 2004/05 (10), a cultivar Macanudo (G4) a São Borja - safra 2004/05 (12), a cultivar Guateian 6662 (G7) a Veranópolis - safra 2006/07 (22) e a cultivar Diamante Negro (G8) a Maquiné - safra 2005/06 (14) (Figura 5).

Pelo método de Lin e Binns (1988), as cultivares que apresentaram menor valor de P_i foram a TPS Nobre, Guapo Brilhante e Minuano, evidenciando maior estabilidade, além de alta produtividade média de grãos nas condições de cultivo da região Sul do Brasil (Tabela 5). Os genótipos com menor 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 cultivar Iraí foi a mais instável, obtendo o maior valor de P_i .

Considerando a decomposição proposta por Carneiro (1998), foi possível identificar cultivares com adaptação a ambientes favoráveis ($<P_{if}$) e desfavoráveis ($<P_{id}$). A cultivar TPS Nobre foi a mais estável/adaptada aos ambientes favoráveis, seguida por Guapo Brilhante e Carioca (Tabela 5). Nos ambientes desfavoráveis, merecem destaque as cultivares Guapo Brilhante, TPS Nobre e Minuano.

A metodologia de Lin e Binns (1988) modificado, também possibilitou a identificação de genótipos de feijão com alta estabilidade fenotípica e adaptados a ambientes específicos associados a alto desempenho médio em vários ambientes de cultivo (BORGES et al., 2000; CARBONELL et al., 2001; BACKES et al., 2005; CARBONELL et al., 2007; MELO et al., 2007; RIBEIRO et al., 2008; PEREIRA et al., 2009a; PEREIRA et al., 2009b; RIBEIRO et al., 2009; PERINA et al., 2010).

Carbonell et al. (2001) afirmaram que este método foi eficiente para avaliar o desempenho genotípico e foi de simples interpretação dos resultados, o qual possibilitou a identificação de cultivares estáveis e produtivas.

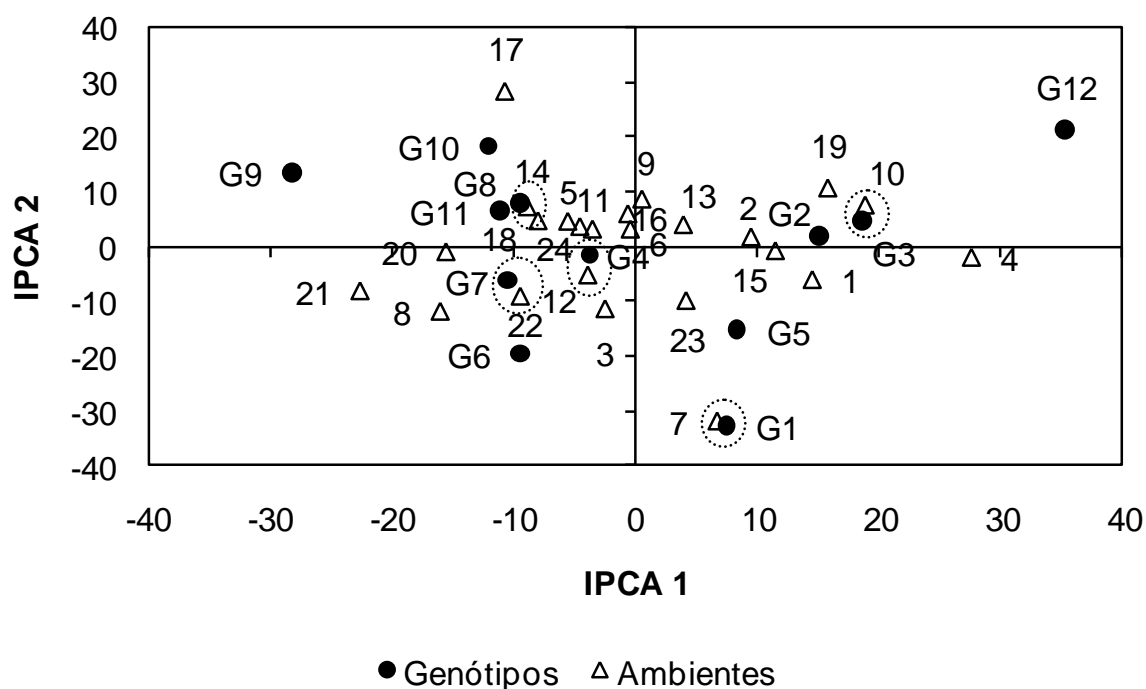


Figura 5 – Gráfico biplot para dados de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 12 cultivares de feijão (G1, Minuano; G2, TPS Nobre; G3, Guapo Brilhante; G4, Macanudo; G5, Carioca; G6, Macotaço; G7, Guateian 6662; G8, Diamante Negro; G9, IAPAR 44; G10, Rio Tibagi; G11, Pérola; G12, Iraí), avaliadas em 24 experimentos conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008: ambientes desfavoráveis (4, 19, 23, 2 e 6, Santa Maria - safras 2002/03, 2006/07 e 2007/08 e safrinhas 2001 e 2004, respectivamente; 8, Maquiné - safra 2004/05; 11 e 20, Santo Augusto - safras 2004/05 e 2006/07, respectivamente; 12, São Borja - safra 2004/05; 13, Frederico Westphalen - safra 2005/06; 18, Palmeira das Missões - safra 2006/07) e ambientes favoráveis (1, 3, 5, 10, 15 e 24, Santa Maria - safras 2000/01, 2001/02, 2003/04, 2004/05 e 2005/06 e safrinha 2008; 7, Frederico Westphalen - safra 2004/05; 9, Pelotas - safra 2004/05; 14 e 17, Maquiné - safra 2005/06 e 2006/07; 16, Santo Augusto - safra 2005/06; 21, Vacaria - safra 2006/07; 22, Veranópolis - safra 2006/07). Primeiro componente principal (IPCA1) x segundo componente principal (IPCA2). Santa Maria - RS, UFSM, 2011.

Na metodologia proposta por Annicchiarico (1992), as cultivares Minuano, TPS Nobre e Guapo Brilhante apresentaram melhor performance, considerando o comportamento em todos os ambientes (Tabela 5). Para essas cultivares, os índices de confiança (ω_i) obtidos foram acima de 100%, indicando que a média de produtividade de grãos dos ambientes foi superada em, no mínimo, 8,03%, 6,29% e 6,93%, respectivamente.

Tabela 5 – Estimativas de parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade fenotípica de 12 cultivares de feijão avaliadas em 24 experimentos conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos de 2000 a 2008, pelo método de Lin e Binns (1988) modificado, com decomposição de P_i (parâmetro de estabilidade e adaptabilidade) em favorável (P_{if}) e desfavorável (P_{id}) e pelo método de Annicchiarico (1992) (ω_i - índice de confiança), com decomposição em ambientes favoráveis (ω_{if}) e desfavoráveis (ω_{id}). Santa Maria - RS, UFSM, 2011.

Cultivar	Média ⁽¹⁾	Lins e Binns (1988) modificado				Annicchiarico (1992)			
		P_i ($\times 10^3$)	P_{if} ($\times 10^3$)	P_{id} ($\times 10^3$)	C	ω_i	ω_{if}	ω_{id}	C
Minuano	2.053	133	173	84	3	108,03	102,74	114,55	1
TPS Nobre	2.042	94	102	83	1	106,29	105,19	109,22	3
Guapo Brilhante	2.034	103	140	60	2	106,93	104,55	110,25	2
Macanudo	1.939	225	243	205	5	100,66	97,31	104,58	4
Carioca	1.922	184	155	219	4	100,24	100,08	100,27	5
Macotaço	1.858	240	197	291	6	97,08	96,39	97,87	6
Guateian 6662	1.792	244	195	300	7	91,00	95,91	85,66	7
Diamante Negro	1.753	292	234	361	8	90,73	96,51	84,51	8
IAPAR 44	1.684	436	450	420	11	84,51	86,59	81,93	11
Rio Tibagi	1.670	379	393	363	9	85,80	89,57	81,49	9
Pérola	1.663	383	337	437	10	85,37	91,16	79,02	10
Iraí	1.600	457	499	407	12	79,46	82,46	76,01	12

⁽¹⁾Produtividade média de grãos (kg ha^{-1}). ⁽²⁾Classificação das cultivares com base nos parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade.

As cultivares com comportamento mais previsíveis em ambientes favoráveis (ω_{if}) e em ambientes desfavoráveis (ω_{id}), pelo método de Annicchiarico (1992), foram as mesmas indicadas para ambiente em geral - Minuano, TPS Nobre e Guapo

Brilhante (Tabela 5). A cultivar Iraí foi, novamente, a mais instável em ambos os ambientes, inclusive para os ambientes em geral. Este método, também, identificou as cultivares mais estáveis entre as mais produtivas, de forma similar à Lin e Binns (1988) modificado, e é de simples interpretação devido à unicidade do parâmetro de estabilidade (BORGES et al., 2000; CARBONELL et al., 2007; PEREIRA et al., 2009a; PEREIRA et al., 2009b).

A cultivar Iraí apresentou a menor média de produtividade de grãos e foi considerada a mais instável por todos os métodos de estimação de adaptabilidade e de estabilidade utilizados (Tabela 3 e 5 e Figura 4). Piana et al. (1999) atribuem essa imprevisibilidade de comportamento da cultivar Iraí ao tipo de planta. Plantas do tipo I se caracterizam basicamente por possuir hábito de crescimento determinado e ciclo biológico curto, aproximadamente 76 dias, e por isso seriam mais suscetíveis aos estresses ambientais, ao passo que, as cultivares dos tipos II e III, que apresentam hábito de crescimento indeterminado, com guias curtas e longas, respectivamente, e ambas de ciclo reprodutivo mais longo, teriam maior capacidade de superar as adversidades do ambiente, mantendo comportamento uniforme. Por sua vez, na análise conjunta dos métodos, a cultivar TPS Nobre foi a cultivar que mais se aproximou do comportamento ideal (alta produtividade de grãos, adaptabilidade geral e estabilidade), exceto pela análise AMMI.

O resumo das cultivares indicadas por cada um dos cinco métodos utilizados é apresentado na Tabela 6. Verificou-se que os métodos divergem quanto a indicação de cultivares adaptadas a ambientes favoráveis, desfavoráveis e em geral e estáveis, exceto os métodos de Lin e Binns (1988) modificado e Annicchiarico (1992), os quais indicaram as mesmas cultivares para ambientes desfavoráveis e em geral, diferindo apenas na indicação para ambientes favoráveis.

Tabela 6 - Cultivares de feijão indicadas pelos métodos de Eberhart e Russell (1966), Cruz et al. (1989), AMMI, Lin e Binns (1988) modificado e Annicchiarico (1992), avaliadas em 24 experimentos conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008. Santa Maria - RS, UFSM, 2011.

	Eberhart e Russell (1966)	Cruz et al. (1989)	AMMI	Lin e Binns (1988) modificado	Annicchiarico (1992)
Adaptabilidade de ambientes favoráveis	$\beta_{1i} > 1$	$\beta_{1i} + \beta_{2i} > 1, \beta_{1i} > 1,$ produtividade		$< P_{if}$	$> \omega_{if}$
	Carioca Guateian 6662	nenhuma (Carioca e Macotaço)*		TPS Nobre Guapo Brilhante Carioca	TPS Nobre Guapo Brilhante Minuano
Adaptabilidade a ambientes desfavoráveis	$\beta_{1i} < 1$	$\beta_{1i} < 1, \beta_{1i} + \beta_{2i} > 1$ e produtividade		$< P_{id}$	$> \omega_{id}$
	Irai	nenhuma		Guapo Brilhante TPS Nobre Minuano	Minuano TPS Nobre Guapo Brilhante
Adaptabilidade a ambientes em geral	$\beta_{1i} = 1$	$\beta_{1i} = 1$ e $\beta_{1i} + \beta_{2i} = 1$		$< P_i$	$> \omega_i$
	Minuano TPS Nobre Guapo Brilhante Macanudo Macotaço Diamante Negro IAPAR 44 Rio Tibagi Pérola	Minuano TPS Nobre Macanudo Diamante Negro IAPAR 44 Pérola		TPS Nobre Guapo Brilhante Minuano	Minuano TPS Nobre Guapo Brilhante
Estabilidade	$\sigma_{di}^{2\ ns}$	$\sigma_{di}^{2\ ns}$	$< IPCA$		
	Guateian 6662	Guateian 6662	Macanudo		
Ideal	$\beta_{1i} = 1, \sigma_{di}^{2\ ns}$ e produtividade $>$ média	$\beta_{1i} < 1, \beta_{1i} + \beta_{2i} > 1, \sigma_{di}^{2\ ns}$ e produtividade $>$ média			
	nenhuma (TPS Nobre)*	nenhuma			

*Cultivares que se aproximaram do comportamento preconizado.

As estimativas do coeficiente de Spearman para os parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade entre os métodos e entre as médias de produtividade de grãos e as metodologias de Lin e Binns (1988) modificado e de Annicchiarico (1992) são apresentadas na Tabela 7. Os métodos baseadas em análise de regressão linear, Eberhart e Russell (1966) e Cruz et al. (1989), apresentaram correlação significativa entre si ($r_s = 0,60$) e, conseqüentemente, geraram informações similares. O mesmo foi observado por Pereira et al. (2009b), porém estes verificaram correlação de maior magnitude ($r_s = 0,78$). Portanto, em análises de adaptabilidade e de estabilidade para produtividade de grãos de cultivares de feijão, não se recomenda o uso conjunto de métodos de Eberhart e Russell (1966) e de Cruz et al. (1989).

Tabela 7 – Estimativas de coeficientes de correlação de Spearman para os parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade de cada par de métodos e média de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) obtidas para 12 cultivares de feijão avaliadas em 24 experimentos conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 e 2008. Santa Maria - RS, UFSM, 2011.

Métodos	Média ⁽¹⁾	E;R ⁽²⁾	Cruz ⁽³⁾	AMMI ⁽⁴⁾	L;B _{mod.} ⁽⁵⁾
Cruz	-	0,60 *	-		
AMMI	-	0,75 *	0,64 *	-	
L;B _{mod.}	0,95 *	0,95 *	0,84 *	0,73 *	-
Annic. ⁽⁶⁾	0,97 *	0,58 *	0,81 *	0,69 *	0,96 *

⁽¹⁾Média de produtividade de grãos (kg ha^{-1}). ⁽²⁾Eberhart e Russell (1966). ⁽³⁾Cruz et al. (1989). ⁽⁴⁾Lin e Binns (1988) modificado. ⁽⁵⁾Annicchiarico (1992). ⁽⁶⁾Análise AMMI. ^{ns}Não-significativo. Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Apesar da correlação entre as metodologias baseadas em análise de regressão linear ser significativa, esta pode ser considerada baixa ($r_s \leq 0,70$), indicando que há uma fraca associação entre esses métodos (Tabela 7). Observou-se que a similaridade entre as metodologias de Eberhart e Russell (1966) e de Cruz et al. (1989) ocorre, principalmente, nos parâmetros de estabilidade, σ_{di}^2 e R^2 , e conseqüentemente, na indicação de cultivares com previsibilidade de comportamento, sendo que a cultivar Guateian 6662 foi indicada, por ambas

metodologias, como estável (Tabela 3 e 6). Miranda et al. (1998) e Cargnelutti Filho et al. (2009a) também constaram que a maior redundância, entre os métodos baseados em regressão, ocorre na estimativa dos parâmetros de estabilidade. A concordância na indicação de cultivares estáveis entre as metodologias de Eberhart e Russell (1966) e de Cruz et al. (1989) também foi verificada por Miranda et al. (1998).

No que tange a adaptabilidade, observou-se concordância na indicação de algumas cultivares para ambientes em geral entre Eberhart e Russell (1966) e Cruz et al. (1989) (Diamante Negro, IAPAR 44, Macanudo, Minuano, Pérola e TPS Nobre) e ausência de concordância na indicação para ambientes específicos (Tabela 6). Em face da fraca associação verificada entre estes métodos (Tabela 7), o uso concomitante em análises de adaptabilidade e de estabilidade para produtividade de grãos em feijão pode ser justificado, quando se quer aliar a maior facilidade de interpretação do método baseado em análise de regressão simples de Eberhart e Russell (1966), à maior capacidade de refinamento das informações de adaptabilidade a ambientes específicos da metodologia baseada em análise de regressão bissegmentada de Cruz et al. (1989).

As metodologias de Eberhart e Russell (1966) e de Cruz et al. (1989) correlacionaram-se significativamente com a análise AMMI e com os métodos propostos por Lin e Binns (1988) modificado e por Annicchiarico (1992), indicando a existência de redundâncias nas informações geradas (Tabela 7). Diante disto, o uso concomitante de métodos baseados em análise de regressão linear, em análise multivariada, em estatística não-paramétrica e em análise de variância é contraindicado em análises de adaptabilidade e de estabilidade para produtividade de grãos de feijão.

O grau de associação de Eberhart e Russell (1966) com a análise AMMI foi moderado ($r_s \geq 0,70$ e $< 0,80$) ($r_s = 0,75$), com Lin e Binns (1988) modificado foi fortíssimo ($r_s \geq 0,90$) ($r_s = 0,95$) e com Annicchiarico (1992) foi fraco ($r_s < 0,70$) ($r_s = 0,58$) (Tabela 7). Por sua vez, Cruz et al. (1989), apresentou um grau de associação baixo com a análise AMMI ($r_s = 0,64$) e forte ($r_s \geq 0,80$ e $< 0,90$) com os métodos de Lin e Binns (1988) modificado ($r_s = 0,84$) e de Annicchiarico (1992) ($r_s = 0,81$).

Pereira et al. (2009b), ao considerarem a média de produtividade de grãos como um parâmetro para a indicação de cultivares, também verificaram associação entre Eberhart e Russell (1966) e AMMI, porém esta foi de baixa magnitude ($r_s =$

0,58). No entanto, não observaram correlação entre Cruz et al. (1989) e os métodos AMMI ($r_s = 0,42^{ns}$), de Lin e Binns (1988) modificado ($r_s = 0,38^{ns}$) e de Annicchiarico (1992) ($r_s = 0,44^{ns}$); e entre Eberhart e Russell (1966) e as metodologias de Lin e Binns (1988) modificado ($r_s = 0,35^{ns}$) e de Annicchiarico (1992) ($r_s = 0,38^{ns}$). As divergências dos resultados verificados no presente trabalho com os obtidos por Pereira et al. (2009b) podem ser atribuídas aos critérios utilizados na classificação dos genótipos, ao conjunto de dados e ao modelo AMMI adotado. Uma vez que, Pereira et al. (2009b) adotaram o modelo AMMI 2, mesmo este tendo explicado somente 31,6% da soma de quadrados da interação GxA.

A utilização conjunta do método de Eberhart e Russell (1966) com a análise AMMI é defendida por Silva e Duarte (2006) e por Melo et al. (2007), apesar da observância de correlação significativa entre essas metodologias. De acordo com esses autores, a análise AMMI forneceria informações sobre a contribuição dos genótipos para a interação GxA, enquanto que o método de Eberhart e Russell (1966) informaria sobre o comportamento de cada genótipo em função da melhoria do ambiente. Segundo Cargnelutti Filho et al. (2009a), há uma concordância em menor magnitude nas estimativas de estabilidade ($r_s = -0,40$) entre estas metodologias e ausência de associação nas estimativas de adaptabilidade. Com relação ao uso do método de Cruz et al. (1989) com a análise AMMI, Pereira et al. (2009b) recomendam o uso conjunto ($r_s = 0,42^{ns}$), pelas informações complementares geradas.

Cargnelutti Filho et al. (2007) compararam sete metodologias de análise de adaptabilidade e de estabilidade (YATES; COCHRAN, 1938; PLAISTED; PETERSON, 1959; WRICKE, 1965; EBERHART; RUSSELL, 1966; TAI, 1971; LIN; BINNS, 1988 modificado; ANNICCHIARICO, 1992) para avaliar a produtividade de grãos de experimentos de cultivares de milho. Concluíram que o método de Eberhart e Russell (1966) deve ser a metodologia preferida, pois considera simultaneamente produtividade de grãos, estabilidade e adaptabilidade a ambientes gerais, favoráveis e desfavoráveis.

Contudo, Silva e Duarte (2006) avaliando onze métodos (YATES; COCHRAN, 1938; PLAISTED; PETERSON, 1959; FINLAY; WILKINSON, 1963; WRICKE, 1965; EBERHART; RUSSELL, 1966; VERMA et al., 1978; AMMI; LIN; BINNS, 1988; HUEHN, 1990; TOLER, 1990; ANNICCHIARICO, 1992), para dados de produtividade de grãos de soja, aconselharam que os métodos baseados,

exclusivamente, em coeficientes de regressão, devem ser utilizados em associação com outro, fundamentado na variância da interação GxA ou em medidas estatísticas como a variância dos desvios da regressão. Cabe ressaltar que estes autores não utilizaram a média da produtividade de grãos como parâmetro para indicar cultivares.

A análise AMMI, além da associação com os métodos baseados em análise de regressão linear comentada anteriormente, apresentou moderado grau de associação com a metodologia de Lin e Binns (1988) modificado ($r_s = 0,73$) e fraco com o método de Annicchiarico (1992) ($r_s = 0,69$) (Tabela 7). Valores de correlação muito similares a estes foram obtidos por Pereira et al. (2009b). Portanto, para esse conjunto de dados, se desaconselha o uso concomitantemente da análise AMMI com os demais métodos em estudo, devido aos coeficientes de correlação de Spearman significativos verificados. O emprego desta metodologia é de grande relevância e proveito em estudos de adaptabilidade e de estabilidade, pela capacidade de descartar ruídos da interação GxA e por permitir a interpretação visual da estabilidade dos genótipos, bem como verificar adaptações específicas a determinados ambientes (GAUCH; ZOBEL, 1996; DUARTE; VENCOVSKY, 1999).

Os valores de correlação altíssimos obtidos entre os métodos de Lin e Binns (1988) modificado ($r_s = 0,95$) e de Annicchiarico (1992) ($r_s = 0,97$) com as médias de produtividade de grãos (Tabela 7), aliados ao fato que na análise AMMI a média de produtividade de grãos teve peso de 50% na classificação das cultivares, explicam a associação verificada entre essas metodologias. Pereira et al. (2009b) também verificaram a existência de associação entre as metodologias baseadas em análise multivariada (AMMI), em estatística não-paramétrica (LIN; BINNS, 1988 modificado) e em análise de variância (ANNICCHIARICO, 1992).

As metodologias de Lin e Binns (1988) modificado e de Annicchiarico (1992) mostraram-se altamente correlacionadas entre si ($r_s = 0,96$), o que contra-indica o seu uso simultâneo, pois as informações geradas seriam redundantes (Tabela 7). A fortíssima associação entre esses dois métodos também foi relatada por Atroch et al. (2000), em arroz de sequeiro; por Borges et al. (2000) e por Pereira et al. (2009b), em feijão; por Silva e Duarte (2006), em soja; por Silva Filho et al. (2008), em algodão; e por Cargnelutti Filho et al. (2009a) em milho. Devido às correlações significativas verificadas entre os métodos de Lin e Binns (1988) modificado e de

Annicchiarico (1992) e os demais métodos avaliados, o uso concomitante dessas metodologias é desaconselhado (Tabela 7).

A similaridade observada entre Lin e Binns (1988) modificado e Annicchiarico (1992) é explicada pelas características próprias destes métodos na avaliação da superioridade dos genótipos, sendo que um toma como referência o desempenho dos melhores genótipos em cada ambiente e o outro a média de cada um dos ambientes, respectivamente. Em ambos, a indicação para ambientes em geral e desfavoráveis foi idêntica (Minuano, TPS Nobre e Guapo Brilhante) e similar para ambientes favoráveis (TPS Nobre e Guapo Brilhante) (Tabela 6). Considerando a frequência de uso em trabalho de análise de adaptabilidade e de estabilidade, percebe-se que o método de Lin e Binns (1988) modificado tem sido o mais utilizado na cultura do feijão do que a metodologia proposta por Annicchiarico (1992) (CARBONELL et al., 2001; BACKES et al., 2005; MELO et al., 2007; RIBEIRO et al., 2008; RIBEIRO et al., 2009; PERINA et al., 2010).

Um dos principais objetivos do melhoramento de plantas é a identificação de cultivares com alta produtividade de grãos, adaptabilidade e estabilidade. Nesse sentido, seria aconselhável que a seleção de cultivares mais adaptadas e estáveis fosse feita entre aquelas que apresentaram alta produtividade de grãos. Observou-se que os métodos de Lin e Binns (1988) modificado e de Annicchiarico (1992) apresentaram essa propriedade, pois mostraram-se altamente correlacionados com as médias de produtividade de grãos (Tabela 7). No processo de seleção, esta característica foi confirmada, sendo que as cultivares indicadas destacaram-se entre as mais produtivas (Minuano, TPS Nobre e Guapo Brilhante) (Tabela 6 e Figura 6). Em virtude da média de produtividade de grãos ter sido considerada como um parâmetro para a indicação de cultivares nos métodos de Eberhart e Russell (1966), de Cruz et al. (1989) e AMMI, a correlação entres esses e a média da produtividade de grãos não foi estimada.

A associação dos métodos de Lin e Binns (1988) modificado e de Annicchiarico (1992) com as médias de produtividade de grãos também é descrita em outros trabalhos (SILVA; DUARTE, 2006; CARGNELUTTI FILHO et al., 2007; MELO et al., 2007; CARGNELUTTI FILHO et al., 2009a; PEREIRA et al., 2009b). Essa associação é atribuída à fórmula de cálculo do parâmetro de estabilidade, pois a previsibilidade está associada à capacidade dos genótipos de apresentarem o menor desvio em relação ao máximo, em todos os ambientes do estudo. Além dessa

característica, esses métodos são de fácil interpretação e permitem identificar cultivares adaptadas a ambientes favoráveis e desfavoráveis.

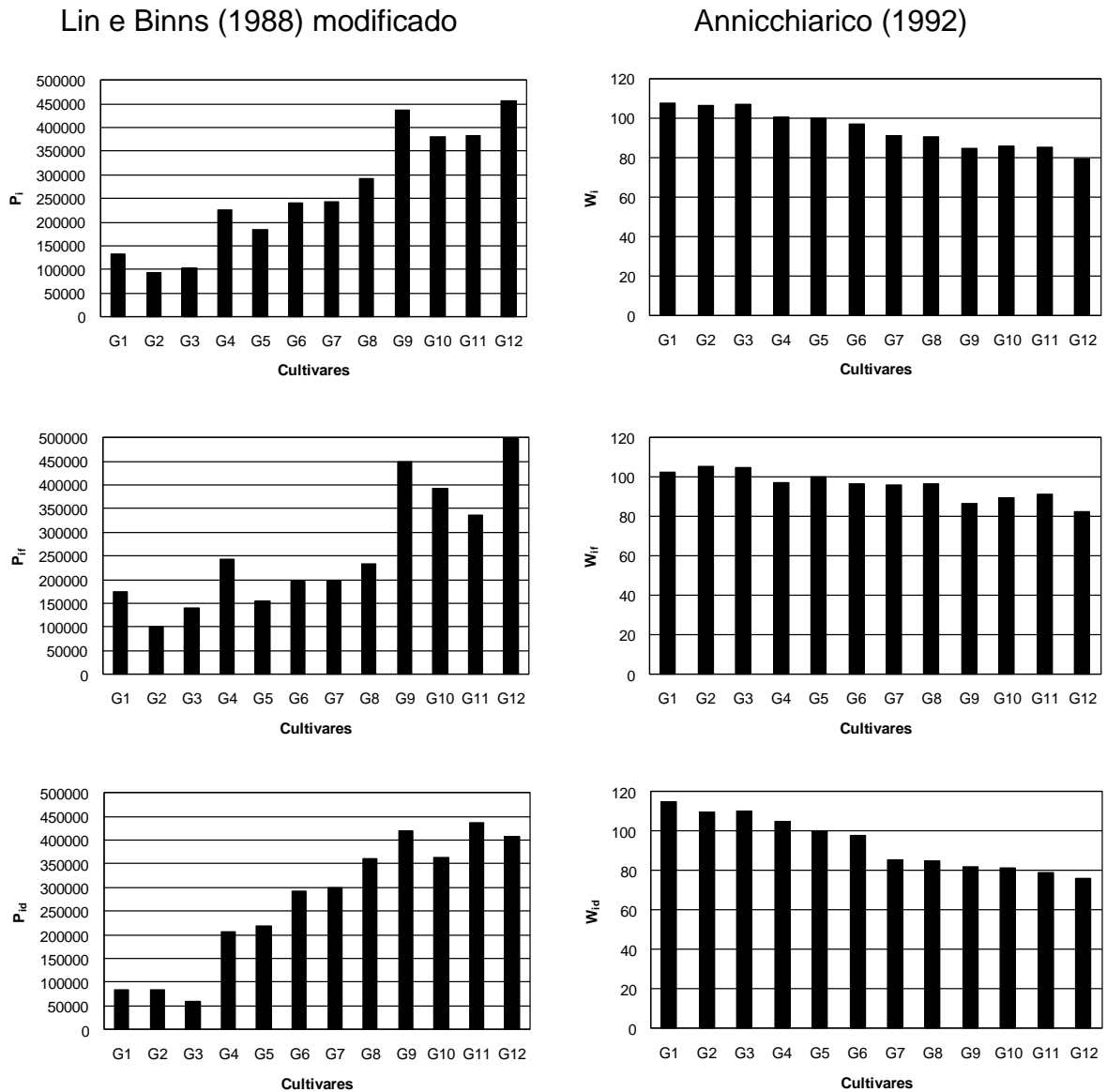


Figura 6 – Comportamento fenotípico para a produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 12 cultivares de feijão (G1, Minuano; G2, TPS Nobre; G3, Guapo Brilhante; G4, Macanudo; G5, Carioca; G6, Macotaço; G7, Guateian 6662; G8, Diamante Negro; G9, IAPAR 44; G10, Rio Tibagi; G11, Pérola; G12, Iraí), avaliadas em 24 ambientes no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008, pelos métodos de Lin e Binns (1988) modificado e de Annicchiarico (1992), em ambientes em geral (P_i e W_i , respectivamente), favoráveis (P_{if} e W_{if} , respectivamente) e desfavoráveis (P_{id} e W_{id} , respectivamente). Santa Maria - RS, UFSM, 2011.

A fortíssima associação dos métodos baseados em estatística não-paramétrica e em análise de variância com as médias de produtividade de grãos, nem sempre pode ser considerada vantajosa, pois, de certa forma, isto pode sugerir uma possível ineficiência dessas metodologias (CARGNELUTTI et al., 2009a). A similaridade na indicação de cultivares por essas metodologias e pelas médias de produtividade de grãos, supõem que os efeitos da interação GxA não estariam sendo considerados. Uma vez que, a indicação com base nas médias de produtividade de grãos só é recomendada quando a interação GxA inexistente.

A produtividade de grãos é uma característica de grande importância no processo de seleção de cultivares. Portanto, em análises de adaptabilidade e de estabilidade, deve ser considerada como um parâmetro para a indicação de cultivares. Na cultura da soja, Silva e Duarte (2006) comentaram que possivelmente haveria modificações na classificação dos genótipos e, conseqüentemente, alteração na correlação entre os métodos, se a média da produtividade de grãos fosse incluída como parâmetro de adaptabilidade e de estabilidade. Na cultura do feijão, Pereira et al. (2009b) observaram alterações nas correlações entre as metodologias avaliadas, sendo que umas aumentaram de magnitude e outras diminuíram, corroborando com a hipótese de Silva e Duarte (2006).

Ao confrontar os resultados obtidos neste trabalho com os existentes na literatura (SILVA; DUARTE, 2006; CARGNELUTTI FILHO et al., 2007; MELO et al., 2007; CARGNELUTTI FILHO et al., 2009a; PEREIRA et al., 2009b), fica claro que a há alteração na associação entre os métodos de adaptabilidade e de estabilidade, quando a média da produtividade de grãos não é e quando é utilizada como parâmetro de adaptabilidade e de estabilidade.

Com relação à indicação de cultivares estáveis e adaptadas às condições específicas ou amplas, percebeu-se que, na maioria das vezes, ela varia em função do método utilizado para a análise de adaptabilidade e de estabilidade. As diferenças nos parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade inerentes a cada método foi responsável pelas diferenças observadas.

Nos métodos de Eberhart e Russell (1966) e de Cruz et al. (1989), em que se preconiza um genótipo ideal, apenas aquelas cultivares que se enquadrarem nos critérios de coeficientes de regressão e de desvios da regressão serão indicadas. Ao passo que, na análise AMMI, desprovida de critério estatístico, a indicação de cultivares é visual, ficando a cargo do pesquisador a interpretação. Já nas

metodologias de Lin e Binns (1988) modificado e de Annicchiarico (1992), pela unicidade do parâmetro de adaptabilidade e de estabilidade, sempre será possível a indicação de cultivares para ambientes em geral, favoráveis e desfavoráveis e estas, provavelmente, configurarão no grupo com produtividade de grãos acima da média geral.

A avaliação do grau de associação entre as metodologias de estimação da adaptabilidade e da estabilidade permitiu identificar quais poderiam ser utilizadas em conjunto e quais não poderiam ser utilizadas concomitantemente, devido à redundância nas informações obtidas. Assim, as metodologias de Eberhart e Russell (1966), de Cruz et al. (1989), AMMI, de Lin e Binns (1988) modificado e Annicchiarico (1992) não podem ser utilizadas simultaneamente.

A opção por um ou outro método fica atrelada ao objetivo do pesquisador. Estudos mais refinados sobre o comportamento das cultivares em ambientes em geral, favoráveis e desfavoráveis são obtidos com o uso das metodologias de Eberhart e Russell (1966) e de Cruz et al. (1989), sendo que Eberhart e Russell (1966) é mais fácil de ser interpretado. Entretanto, deve-se observar se os dados apresentam comportamento linear. Os métodos de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) e de Annicchiarico (1992), devido à unicidade do parâmetro de adaptabilidade e de estabilidade e a forma de cálculo deste, permitem a identificação dos genótipos mais estáveis entre os mais produtivos, tanto para ambientes favoráveis quanto desfavoráveis. Já a análise AMMI permite a interpretação gráfica dos resultados da análise estatística e possui o diferencial de identificar cultivares com adaptações específicas a determinados ambientes, além de que a análise visual é muito prática.

CONCLUSÕES

A cultivar TPS Nobre é a que mais se aproxima do comportamento preconizado como ideal, exceto pela análise AMMI.

A cultivar Iraí é instável e apresenta baixa produtividade de grãos no Estado do Rio Grande do Sul.

Os métodos de Eberhart e Russell (1966), de Cruz et al. (1989), AMMI, de Lin e Binns (1988) modificado e de Annicchiarico (1992) estão associadas entre si.

Em análise de adaptabilidade e de estabilidade na cultura do feijão, quando a média da produtividade de grãos é considerada como um parâmetro de adaptabilidade e de estabilidade, não se recomenda o uso conjunto dos métodos de Eberhart e Russell (1966), de Cruz et al. (1989), AMMI, de Lin e Binns (1988) modificado e de Annicchiarico (1992).

As metodologias de Lin e Binns (1988) modificado ($r_s = 0,95$) e de Annicchiarico (1992) ($r_s = 0,97$) são altamente correlacionadas com as médias de produtividade de grãos.

REFERÊNCIAS

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Breeding**, Madison, v. 46, p. 269-278, 1992.

ARAUJO, R. S. et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. 786p.

ATROCH, A. L.; SOARES, A. A.; RAMALHO, M. A. P. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de arroz de sequeiro testadas no Estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 3, p. 541-548, jul./set. 2000.

AYRES, M. et al. **BIOESTAT: Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas**. 5. ed. Belém: U F P, 2007. 339 p.

BACKES, R. L. et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro no Estado de Santa Catarina. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 2, p. 309-314, Apr./June 2005.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 5. ed. Viçosa: UFV, 2009. 529p.

BORGES, L. C. et al. Emprego de metodologias de avaliação da estabilidade fenotípica na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 47, n. 269, p. 89-102, jan./fev. 2000.

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**. Anexo IV. Brasília: MAPA, 2006. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 17 dez. 2010.

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**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 321-329, fev. 2000.

CARBONELL, S. A. M. et al. Adaptabilidade e estabilidade de produção de cultivares e linhagens de feijoeiro no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 2, p. 69-77, maio/ago. 2001.

CARBONELL, S. A. M. et al. Estabilidade de cultivares e linhagens de feijoeiro em diferentes ambientes no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 193-201, abr./jun. 2007.

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Comparação de métodos de adaptabilidade e estabilidade relacionados à produtividade de grãos de cultivares de milho. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 571-578, out./dez. 2007.

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Associação entre métodos de adaptabilidade e estabilidade em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 2, p. 340-347, mar./abr. 2009a.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 1, p. 17-24, jan. 2007.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Medidas do grau de precisão experimental em ensaios de competição de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 111-117, fev. 2009.

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, out. 2009b.

CARNEIRO, P. C. S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. 1998. 168 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

CEPEF. Comissão Estadual de Pesquisa do Feijão. **Indicações técnicas para a cultura do feijão no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 110 p.

CQFS. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 400 p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra: séries históricas: Feijão 1ª, 2ª e 3ª safras**. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>. Acesso em 08 out. 2010.

COSTA, A. S. V. da et al. Comportamento de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em dez ambientes compreendendo cinco sistemas de produção. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 44, n. 256, p. 676-700, nov./dez. 1997.

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**. 2. ed. Viçosa: UFV, 1997. 390 p.

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

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.

DUARTE, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. de O. Adaptabilidade e estabilidade de rendimento de genótipos de feijoeiro comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 25-32, jan. 1994.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v. 6, n. 1, p. 36-40, Jan./Fev. 1966.

FERREIRA, D.F. **Aplicativo Estabilidade**. Lavras: Ufla, 2000. Disponível em: <<http://www.dex.ufla.br/~danielff/software.htm>>. Acesso em: 30 dez. 2008.

FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. **Australian Journal of Agriculture Research**, Collingwood, v. 14, p. 742-754, 1963.

GOLLOB, H. F. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. **Psychometrika**, Toronto, v. 33, n. 1, p. 73-115, Mar. 1968.

GONÇALVES, J. G. R. et al. Estabilidade fenotípica em feijoeiro estimada por análise AMMI com genótipo suplementar. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 863-871, out./dez. 2009.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. AMMI analysis of yield trials. In: KANG, M. S.; GAUCH, H. G. (Ed.). **Genotype by environment interaction**. Boca Raton: CRC Press, 1996. 4 v. p. 85-122.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 467p.

HUEHN, M. Nonparametric measures of phenotypic stability. Part I: Theory. **Euphytica**. The Netherlands, v. 47, n. 3, p. 189-194, June 1990.

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, Jan. 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, jan./jun. 1999.

MEKBIB, F. Simultaneous selection for high yield and stability in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 138, n. 3, p. 249-253, May 2002.

MELO, L. C. et al. 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, maio 2007.

MIRANDA, G. V. et al. 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.

OLIVEIRA, G. V. et al. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão comum em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 257-265, fev. 2006.

PEREIRA, H. S. et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum com grãos tipo carioca na Região Central do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 1, p. 29-37, jan. 2009a.

PEREIRA, H. S. et al. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 4, p. 374-383, abr. 2009b.

PERINA, E. F. et al. Avaliação da estabilidade e adaptabilidade de genótipos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) baseada na análise multivariada da "performance" genotípica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 398-406, mar./abr. 2010.

PIANA, C. F. de B. et al. Adaptabilidade e estabilidade do rendimento de grãos de genótipos de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 553-564, abr. 1999.

PLAISTED, R. L.; PETERSON, L. C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations and seasons. **American Potato Journal Research**, Orono, v. 36, n. 11, p. 381-385, Nov. 1959.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; PINTO, C. A. B. P. **Genética na agropecuária**. 4. ed. Lavras: UFLA. 2008. 464p.

RIBEIRO, N. D. et al. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares registradas de feijão em diferentes épocas de semeadura para a depressão central do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1395-1400, set./out. 2004.

RIBEIRO, N. D. et al. 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, dez. 2008.

RIBEIRO, N. D. et al. 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, abr./jun. 2009.

ROCHA, M. de M. et al. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte semi-ereto na Região Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 9, p. 1283-1289, set. 2007.

SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 23-30, jan. 2006.

SILVA FILHO, J. L. da et al. Comparação de métodos para avaliar a adaptabilidade e estabilidade produtiva em algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 349-355, mar. 2008.

TAI, G. C. C. Genotype stability analysis and its application to potato regional trials. **Crop Science**, Madison, v. 11, n. 2, p. 184- 190, Mar./Apr. 1971.

TOLER, J. E. **Patterns of genotype performance over environmental arrays**. 1990. 154 f. Thesis (Ph.D.)-Clemson University, South Carolina, 1990.

VERMA, M. M.; CHAHAL, G. S.; MURTY, B. R. Limitations of conventional regression analysis a proposed modification. **Theoretical and Applied Genetics**, Stuttgart, v. 53, n. 2, p. 89-91, Sept. 1978.

WRICKE, G. Zur Berechnung der okovalenz bei sommerweizen und hafer. **Zeitschrift für Pflanzenzüchtung**, Berlin, v. 52, p. 127-138, 1965.

YATES, F.; COCHRAN, W. G. The analysis of group of experiments. **Journal of Agriculture Science**, Aberdeen, v. 28, p. 556-580, 1938.

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, May/June. 1988.

Apêndice A – Resumo das análises de variâncias individuais dos dados de produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de sete experimentos de cultivares de feijão conduzidos no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2009, eliminados da análise conjunta de variância. Santa Maria - RS, UFSM, 2011.

Ambiente	Cultivares (n°)	QMg ⁽³⁾	QMe ⁽⁴⁾	Média ⁽⁵⁾	CV ⁽⁶⁾	F _c ⁽⁷⁾	h ²⁽⁸⁾
Ano ⁽¹⁾ - Local ⁽²⁾				kg ha ⁻¹	%		
1-1	19	167.453 [*]	30.616	713	25	5,47	0,82
2-1	19	28.555 [*]	7.686	253	35	3,72	0,73
3-2	17	20.870 ^{ns}	15.067	307	40	1,39	0,28
4-2	19	179.369 [*]	19.080	637	22	9,40	0,89
4-3	20	367.563 ^{ns}	245.051	2.376	21	1,50	0,33
5-3	21	1.001.484 [*]	216.717	1.360	34	4,62	0,78
6-1	18	59.516 [*]	22.579	620	24	2,64	0,62

⁽¹⁾Ano agrícola: 1- 2002; 2- 2003; 3- 2004/2005; 4- 2005/2006; 5- 2006/2007; 6- 2008/09 (safra: 3, 4, 5 e 6 e safrinha: anos 1 e 2); ⁽²⁾Local: 1- Santa Maria; 2- Júlio de Castilhos; 3- Pelotas. ⁽³⁾QMg: Quadrado médio de genótipos. ⁽⁴⁾QMe: Quadrado médio do erro. ⁽⁵⁾Média: Média geral do experimento (kg ha⁻¹). ⁽⁶⁾CV: Coeficiente de variação (%). ⁽⁷⁾F_c: Valor do teste F para genótipo. ⁽⁸⁾h²: Herdabilidade. ^{ns}Não-significativo. ^{*}Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

(continuação e conclusão)

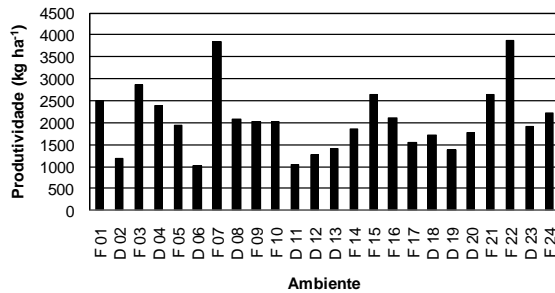
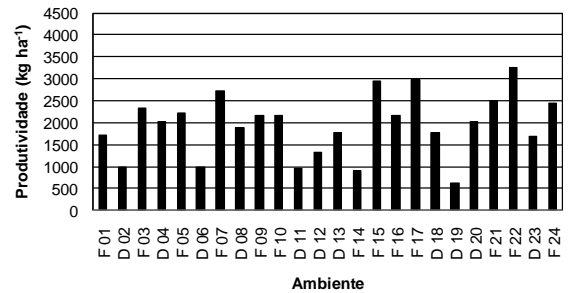
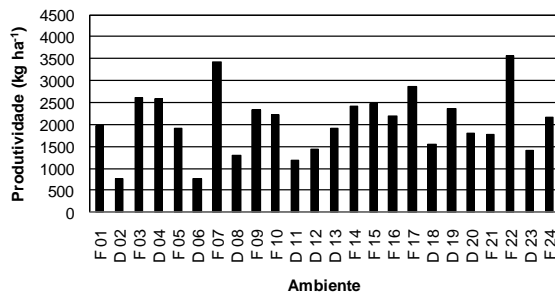
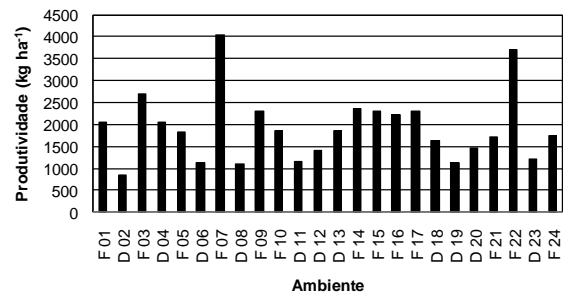
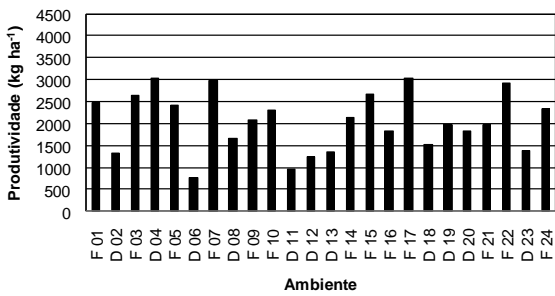
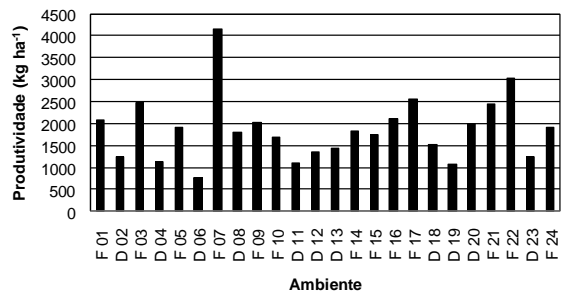
Apêndice B – Produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de cultivares de feijão avaliadas em 31 ambientes no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2009. Santa Maria - RS, UFSM, 2011.

Cultivar	2005/06 ⁽¹⁾					2006/07						2007/08	2008 ⁽²⁾	2008/09	
	3	4	5	1	6	4	8	5	1	6	9	10	1	1	1
TPS Nobre	856 b*	2404 a	2630 ^{ns}	2484 a	2194 a	2869 a	1561 b	1150 b	2369 a	1800 a	1777 b	3562 a	1402 a	2164 a	640 a
Minuano	1126 a	1850 a	2758	2647 a	2122 a	1553 a	1723 a	2174 a	1394 b	1775 a	2628 a	3882 a	1902 a	2217 a	591 a
Macanudo	652 b	916 b	2613	2938 a	2167 a	2964 a	1764 a	2196 a	613 c	2033 a	2498 a	3248 b	1682 a	2440 a	686 a
Guapo Brilhante	872 b	2130 a	2592	2663 a	1822 b	3043 a	1518 b	1506 b	1977 a	1817 a	1958 b	2913 b	1391 a	2343 a	758 a
Carioca	821 b	2359 a	2494	2300 b	2233 a	2308 a	1644 a	1255 b	1122 c	1458 b	1708 b	3692 a	1202 b	1743 b	511 a
Macotaço	807 b	1818 a	2188	1742 b	2100 a	2549 a	1524 b	2051 a	1071 c	1983 a	2450 a	3043 b	1236 b	1905 b	508 a
TPS Bonito	213 c	1401 b	2274	2805 a	2233 a	2723 a	1479 b	1131 b	1813 a	1367 b	2663 a	3353 a	-	-	-
Guateian 6662	692 b	2167 a	2302	2147 b	1894 b	3009 a	1722 a	1244 b	837 c	1958 a	2283 a	3148 b	829 b	2028 b	767 a
Diamante Negro	338 c	2136 a	2361	2135 b	2156 a	3073 a	1549 b	787 b	1414 b	1317 b	2305 a	3033 b	1071 b	2404 a	653 a
IAPAR 44	476 c	2472 a	2192	1623 b	1833 b	3003 a	1857 a	532 b	928 c	2108 a	2330 a	3663 a	761 b	1957 b	542 a
Rio Tibagi	408 c	2027 a	2229	1849 b	2422 a	3307 a	1734 a	621 b	1169 c	1700 a	2223 a	2633 b	677 b	1701 b	724 a
Pérola	417 c	2018 a	2059	1794 b	1722 b	2524 a	1408 b	1097 b	1040 c	1658 a	1907 b	3566 a	953 b	2206 a	681 a
Iraí	483 c	1461 b	2322	2275 b	2122 a	2624 a	1357 b	2052 a	1593 b	850 b	860 c	2518 b	832 b	1676 b	531 a
FTS Soberano	705 b	2008 a	2054	2761 a	1467 c	2773 a	1769 a	855 b	1830 a	1292 b	1723 b	2952 b	1174 b	2167 a	-
FTS Magnífico	-	-	1603	2388 a	-	2647 a	1331 b	1060 b	902 c	1458 b	1975 b	3223 b	1475 a	1859 b	-
BRS Valente	440 c	1876 a	1899	2211 b	2356 a	3052 a	1772 a	568 b	1447 b	1208 b	1675 b	2997 b	926 b	2070 b	634 a
BRS Exedito	421 c	2164 a	2328	2115 b	2211 a	3262 a	1792 a	914 b	1443 b	1708 a	2110 a	3658 a	1069 b	2490 a	476 a
Iapar 31	974 c	2461 a	2859	2800 a	2344 a	-	-	2215 a	-	-	-	-	-	-	-
TPS Bionobre	-	-	2631	2515 a	-	-	-	1280 b	-	-	-	-	-	-	-
PR 468	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BRS Campeiro	563 c	1999 a	3125	2671 a	1944 b	3007 a	1622 a	1819 a	1913 a	1658 a	2323 a	3339 a	1536 a	2461 a	465 A
FEPAGRO 26	834 b	2262 a	-	2509 a	2067 a	2873 a	1701 a	2046 a	991 c	1208 b	1851 b	3437 a	1602 a	2224 a	619 A
BRS Supremo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1228 b	1989 b	389 A
IPR Uirapuru	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1099 b	2502 a	992 A

⁽¹⁾Cultivo de safra: 2000/01, 2001/02, 2002/03, 2003/04, 2004/05 e 2005/06 e cultivo de safrinha: 2001, 2002, 2003 e 2004. ⁽²⁾Locais: Santa Maria (1); Frederico Westphalen (2); Júlio de Castilhos (3); Maquiné (4); Pelotas (5); Santo Augusto (6); São Borja(7); Palmeira das Missões (8); Vacaria (9); Veranópolis (10). ^{ns}Não significativo. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5%probabilidade de erro.

(continua)

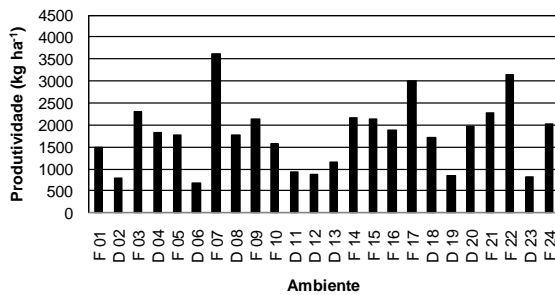
Apêndice C – Produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 12 cultivares de feijão (G1: Minuano, G2: TPS Nobre, G3: Guapo Brilhante, G4: Macanudo, G5: Carioca, G6: Macotaço, G7: Guateian 6662, G8: Diamante Negro, G9: IAPAR 44, G10: Rio Tibagi, G11: Pérola, G12: Iraí) avaliadas em 24 ambientes no Estado do Rio Grande do Sul, nos anos agrícolas de 2000 a 2008. Santa Maria - RS, UFSM, 2011.

G1**G4****G2****G5****G3****G6**

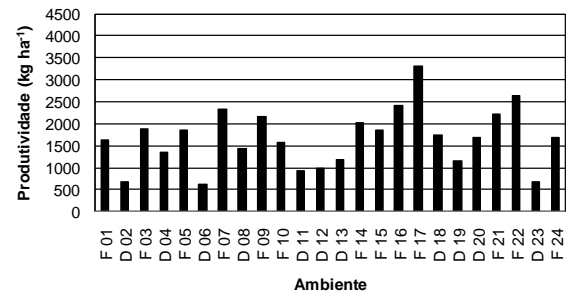
(continuação e conclusão)

Apêndice C – Produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 12 cultivares de feijão (G1: Minuano, G2: TPS Nobre, G3: Guapo Brilhante, G4: Macanudo, G5: Carioca, G6: Macotaço, G7: Guateian 6662, G8: Diamante Negro, G9: IAPAR 44, G10: Rio Tibagi, G11: Pérola, G12: Iraí) avaliadas em 24 ambientes no Estado do Rio Grande do Sul, nos anos agrícolas de 2000 a 2008. Santa Maria - RS, UFSM, 2011.

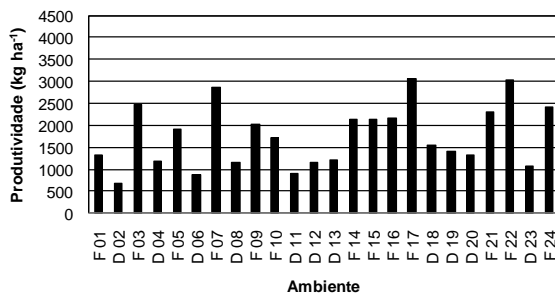
G7



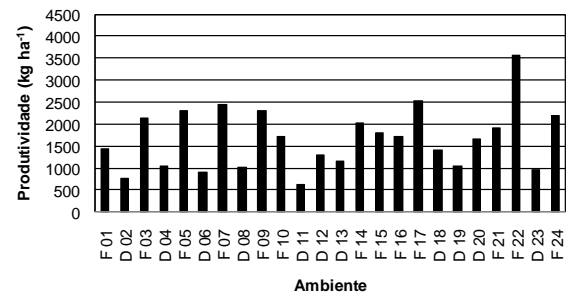
G10



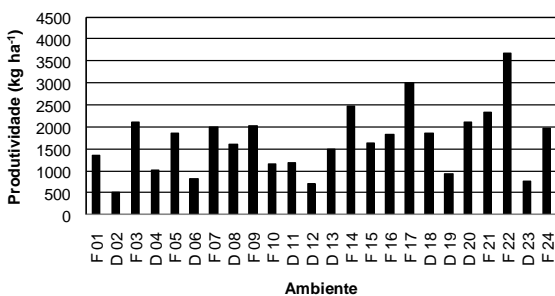
G8



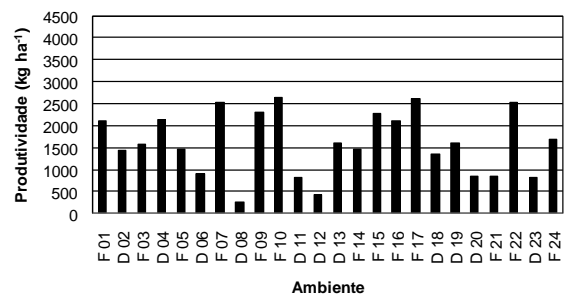
G11



G9



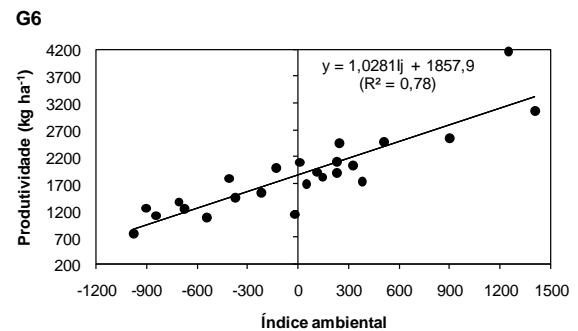
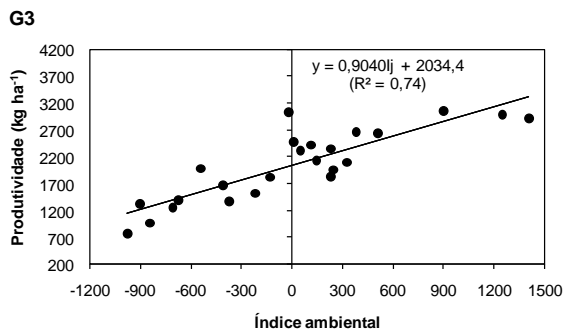
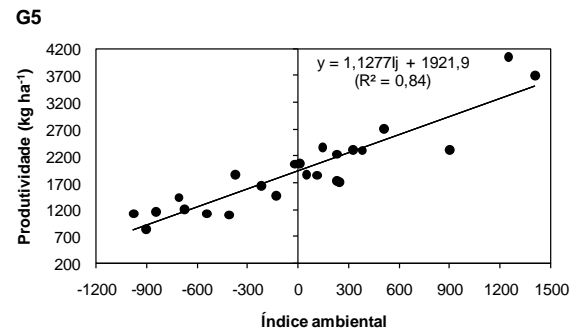
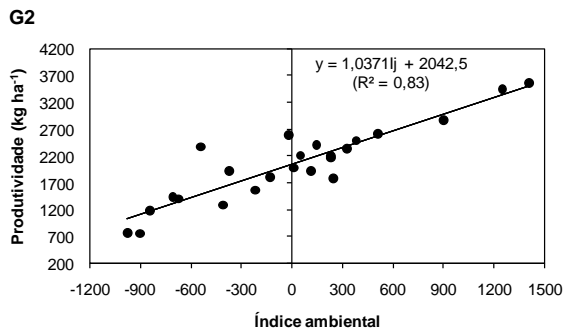
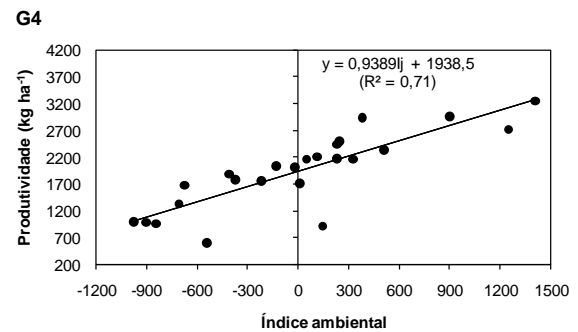
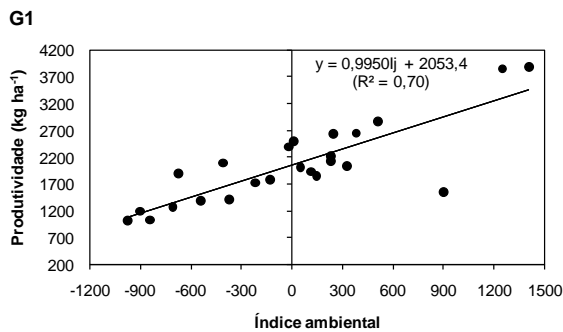
G12



*F: Ambientes favoráveis e D: ambientes desfavoráveis. F 01: Santa Maria_safra 2000/01; D 02: Santa Maria_safra 2001; F 03: Santa Maria_safra 2001/02; D 04: Santa Maria_safra 2002/03; F 05: Santa Maria_safra 2003/04; D 06: Santa Maria_safra 2004; F 07: Frederico Westphalen_safra 2004/05; D 08: Maquiné_safra 2004/05; F 09: Pelotas_safra 2004/05; F 10: Santa Maria_safra 2004/05; D 11: Santo Augusto_safra 2004/05; D 12: São Borja_safra 2004/05; D 13: Frederico Westphalen_safra 2005/06; F 14: Maquiné_safra 2005/06; F 15: Santa Maria_safra 2005/06; F 16: Santo Augusto_safra 2005/06; F 17: Maquiné_safra 2006/07; D 18: Palmeira das Missões_safra 2006/07; D 19: Santa Maria_safra 2006/07; D 20: Santo Augusto_safra 2006/07; F 21: Vacaria_safra 2006/07; F 22: Veranópolis_safra 2006/07; D 23: Santa Maria_safra 2007/08; F 24: Santa Maria_safra 2008.

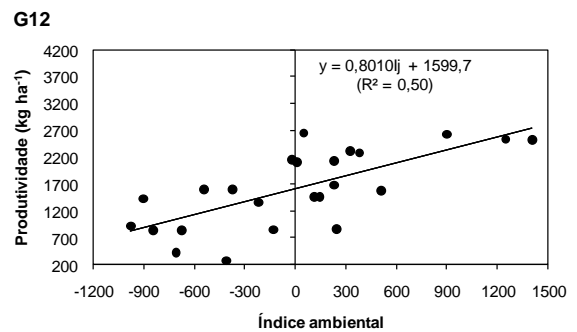
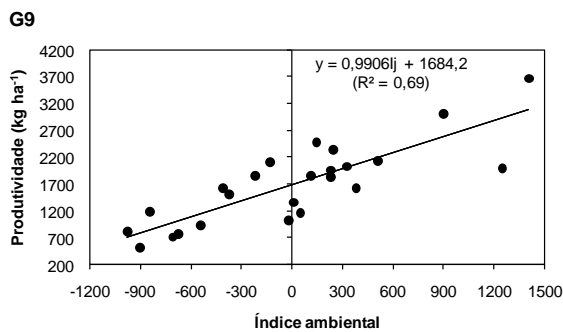
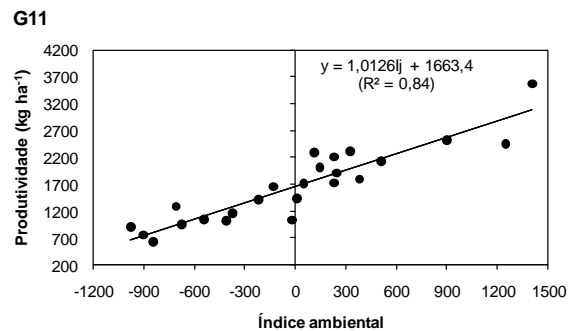
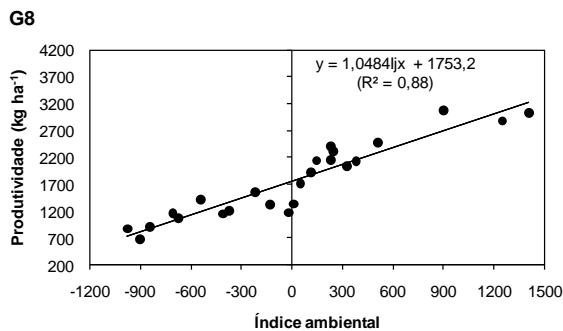
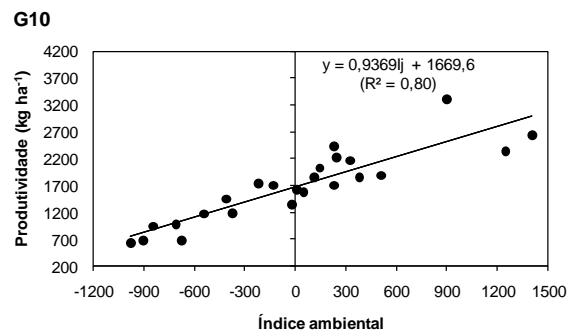
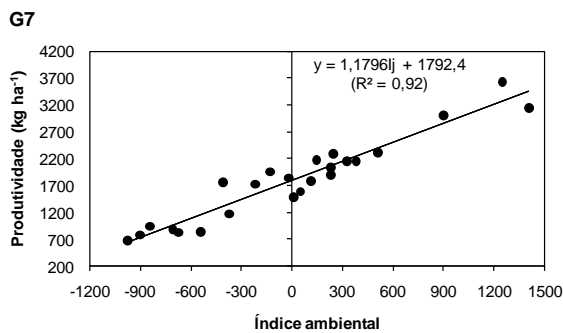
(continua)

Apêndice D – Comportamento fenotípico para produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 12 cultivares de feijão (G1: Minuano, G2: TPS Nobre, G3: Guapo Brilhante, G4: Macanudo, G5: Carioca, G6: Macotaço, G7: Guateian 6662, G8: Diamante Negro, G9: IAPAR 44, G10: Rio Tibagi, G11: Pérola, G12: Iraí) avaliadas em 24 ambientes no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008, pelo método de Eberhart e Russell (1966). Santa Maria - RS, UFSM, 2011.



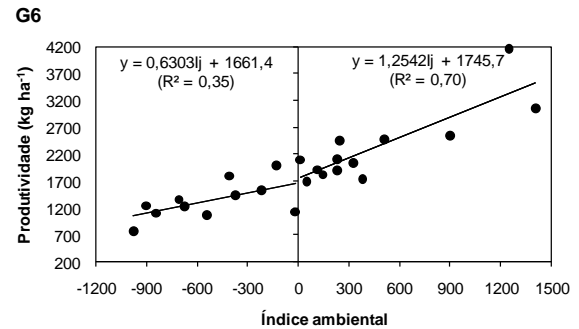
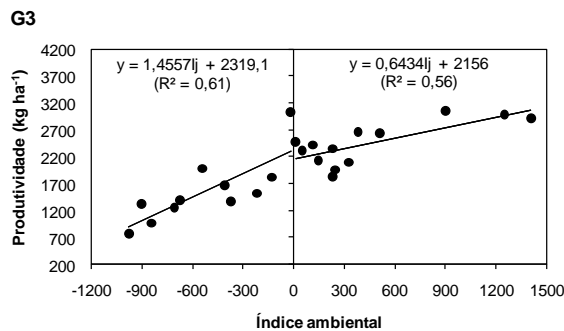
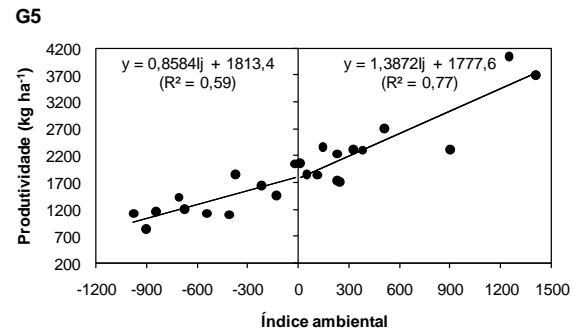
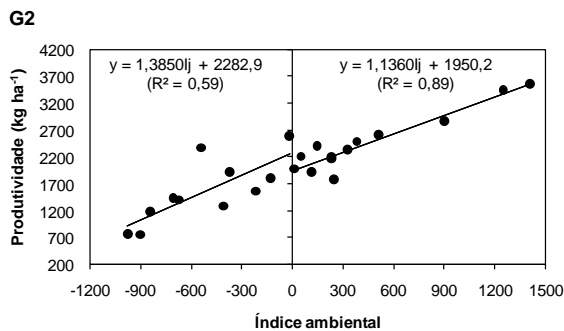
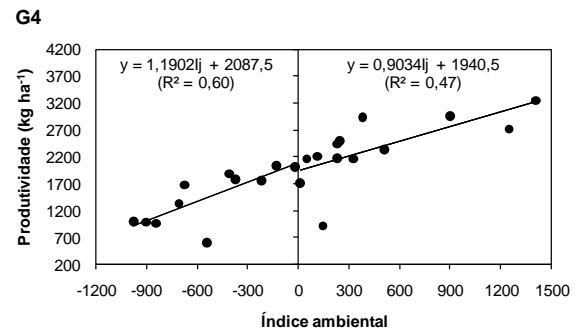
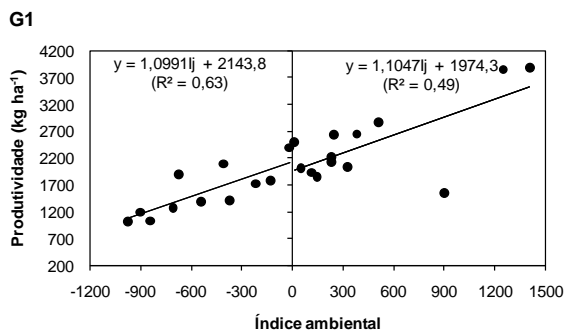
(continuação e conclusão)

Apêndice D – Comportamento fenotípico para produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 12 cultivares de feijão (G1: Minuano, G2: TPS Nobre, G3: Guapo Brilhante, G4: Macanudo, G5: Carioca, G6: Macotaço, G7: Guateian 6662, G8: Diamante Negro, G9: IAPAR 44, G10: Rio Tibagi, G11: Pérola, G12: Iraí) avaliadas em 24 ambientes no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008, pelo método de Eberhart e Russell (1966). Santa Maria - RS, UFSM, 2011.



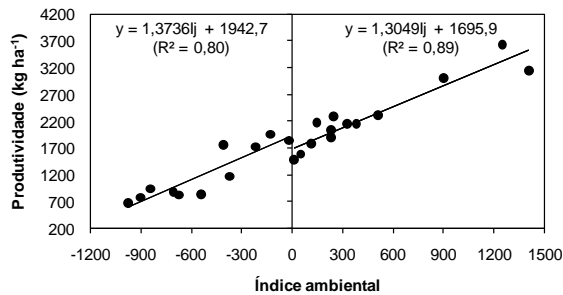
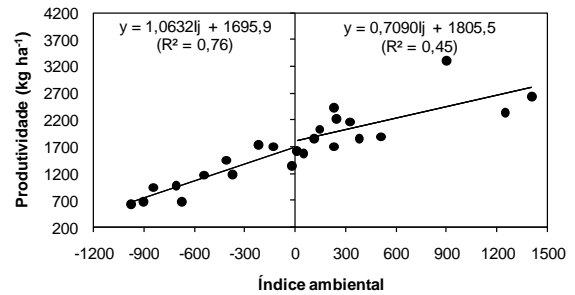
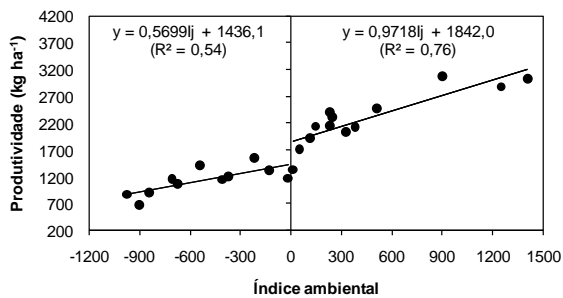
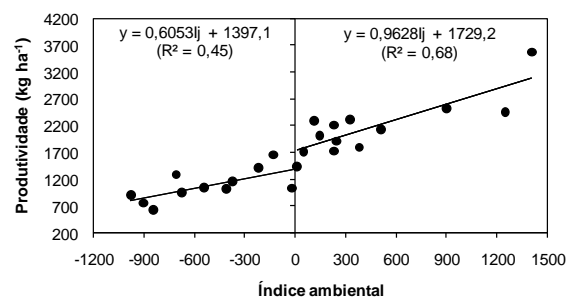
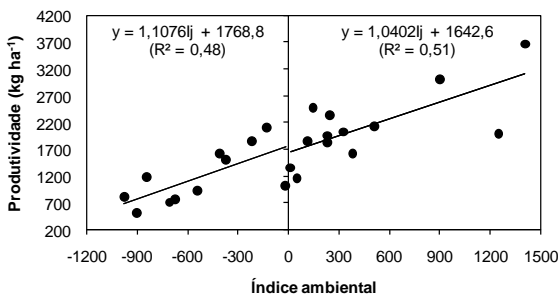
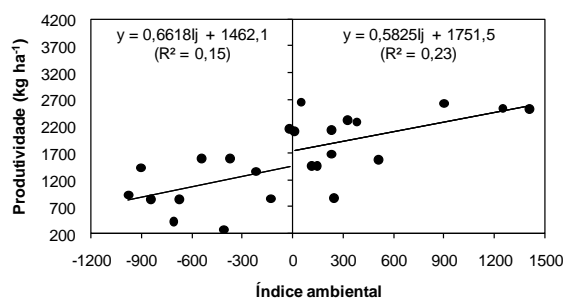
(continua)

Apêndice E – Comportamento fenotípico para produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 12 cultivares de feijão (G1: Minuano, G2: TPS Nobre, G3: Guapo Brilhante, G4: Macanudo, G5: Carioca, G6: Macotaço, G7: Guateian 6662, G8: Diamante Negro, G9: IAPAR 44, G10: Rio Tibagi, G11: Pérola, G12: Iraí) avaliadas em 24 ambientes no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008, pelo método de Cruz et al. (1989). Santa Maria - RS, UFSM, 2011.



(continuação e conclusão)

Apêndice E – Comportamento fenotípico para produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 12 cultivares de feijão (G1: Minuano, G2: TPS Nobre, G3: Guapo Brilhante, G4: Macanudo, G5: Carioca, G6: Macotaço, G7: Guateian 6662, G8: Diamante Negro, G9: IAPAR 44, G10: Rio Tibagi, G11: Pérola, G12: Iraí) avaliadas em 24 ambientes no Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 2000 a 2008, pelo método de Cruz et al. (1989). Santa Maria - RS, UFSM, 2011.

G7**G10****G8****G11****G9****G12**

Apêndice F – Hábito de crescimento, tipo de grão e genealogia das cultivares de feijão utilizadas no estudo de adaptabilidade e de estabilidade para a produtividade de grãos. Santa Maria - RS, UFSM, 2011.

Cultivar	HC ⁽¹⁾	Tipo de grãos	Genealogia ⁽²⁾
Minuano	III	Preto	A 358 /// A 176 // (G 4326 / XAN 40)
TPS Nobre	II	Preto	(FT 120/ FT 84-1806) // FT 84-424
Guapo Brilhante	III	Preto	XAN 125 / [BAT 336 /// (A 38 / ICA Pijao)]
Macanudo	II/III	Preto	A 358 / [A 176 /// (G 4326 / BAC 40)]
Carioca	III	Carioca	Seleção de amostras coletadas no campo
Macotaço	III	Preto	A 358 / [A 176 /// (G 4326 / XAN 40)]
Guateian 6662	II	Preto	Introdução da Costa Rica
Diamante Negro	II	Preto	(XAN 87 / A 367)
IAPAR 44	II	Preto	(BAC 2 / RAI 12) // (Rio Tibagi / Cornell 49242)
Rio Tibagi	II	Preto	S-89-N (introdução)
Pérola	III	Carioca	Seleção da cultivar Aporé
Iraí	I	Manteigão	Selecionada a partir de população local

⁽¹⁾HC: II: Hábito de crescimento indeterminado com guias curtas; III: Hábito de crescimento indeterminado com guias longas. ⁽²⁾Genealogia: /: Cruzamento simples; //: Cruzamento duplo; ///: Cruzamento triplo.