

## ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DO RENDIMENTO DE GRÃOS DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO<sup>1</sup>

CLAUSE FÁTIMA DE BRUM PIANA<sup>2</sup>, IRAJÁ FERREIRA ANTUNES<sup>3</sup>, JOÃO GILBERTO CORRÊA DA SILVA<sup>4</sup> e EXPEDITO PAULO SILVEIRA<sup>5</sup>

RESUMO - Efetuaram-se análises de adaptabilidade e estabilidade do rendimento de grãos de onze genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) de ensaios conduzidos em 23 municípios do Rio Grande do Sul, de 1988/89 a 1993/94, compreendendo 72 ambientes, visando identificar genótipos mais adequados para cultivo no Estado e utilização em programas de melhoramento. Foram avaliados os genótipos Rio Tibagi, Guateian 6662, EMPASC 201, FT 120, Macanudo, Pampa, Minuano, Macotaço, CNF 5491, Carioca e Iraí. Utilizou-se o método de regressão linear segmentada com estimação da junção dos segmentos. A ausência de alterações significativas das taxas de respostas lineares individuais dos genótipos indicou o método de regressão linear simples como mais apropriado. Os genótipos apresentaram desvios de regressão significativos, caracterizando instabilidade fenotípica. Iraí mostrou instabilidade superior às dos demais. Os genótipos diferiram quanto à produtividade média e à taxa de resposta, classificando-se como: Minuano, Macotaço, CNF 5491 e Macanudo, adaptabilidade geral; Rio Tibagi, Pampa e Iraí, pobremente adaptados a todos ambientes; Guateian 6662 e EMPASC 201, adaptação específica a ambientes pobres e FT 120 e Carioca, adaptação média a todos ambientes. Destacaram-se Minuano, Macotaço, CNF 5491 e Macanudo, como mais produtivos e melhor adaptados aos ambientes considerados. Esses genótipos, aparentados, apresentaram adaptabilidade semelhante entre si e diferente dos demais e estabilidade não diferenciada em relação a alguns.

Termos para indexação: *Phaseolus vulgaris*, regressão linear, regressão segmentada.

### GRAIN YIELD ADAPTATION AND STABILITY OF BEAN GENOTYPES

ABSTRACT - Adaptation and stability analysis of grain yield of eleven bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes were performed using data collected from trials carried out in 23 locations of Rio Grande do Sul State (Brazil), from 1988/89 to 1993/94, comprising 72 environments. The objective was to identify the best genotypes for cultivation throughout the state as well as for breeding purposes. Genotypes, were Rio Tibagi, Guateian 6662, EMPASC 201, FT 120, Macanudo, Pampa, Minuano, Macotaço, CNF 5491, Carioca and Iraí. Segmented regression method with estimated join point was used. Absence of significant alteration of the genotype individual linear response rates indicated the linear regression method as appropriate for this study. All genotypes presented significant regression deviation, characterizing phenotypic instability. Genotypes differed in regard to average yield and response rate, being classified as: Minuano, Macotaço, CNF 5491 and Macanudo of general adaptation; Rio Tibagi, Pampa and Iraí of poor adaptation to all environments; Guateian 6662 and EMPASC 201 of specific adaptation to poor environments; genotypes FT 120 and Carioca of average adaptation to all environments. These results pointed out Minuano, Macotaço, CNF 5491 and Macanudo as the most productive and best adapted to the considered environments. These genetically related genotypes displayed similar adaptability among themselves and different from the others as well as no differential stability from some of them.

Index terms: *Phaseolus vulgaris*, linear regression, segmented regression.

### INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos alimentos básicos do povo brasileiro. Faz parte dos hábitos alimentares da população, tanto nas cidades como no meio rural, desempenhando, nas classes mais humildes, o papel de principal fonte de proteína. Atualmente, no Brasil, se consome em torno de 17 kg/pessoa/ano, quantia que, apesar de ser muito inferior ao consumo na década de 60 (em torno de

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 25 de junho de 1998.

Extraído da Dissertação de Mestrado da primeira autora, apresentada à UFPEL, Pelotas, RS.

<sup>2</sup> Bióloga, M.Sc., Embrapa-Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado (CPACT), Caixa Postal 403, CEP 96001-970 Pelotas, RS. E-mail: clause@ufpel.tche.br

<sup>3</sup> Eng. Agr., Dr., Embrapa-CPACT. E-mail: irajafa@ufpel.tche.br

<sup>4</sup> Eng. Agr., Ph.D., Prof. Titular, Dep. de Matemática, Estatística e Computação, Inst. de Física e Matemática, UFPEL, Caixa Postal 354, CEP 96010-900 Pelotas, RS. E-mail: jgcs@ufpel.tche.br

<sup>5</sup> Eng. Agr., M.Sc., Embrapa-CPACT.

30 kg), soma 2,8 milhões de toneladas de consumo anual (Levantamento..., 1996).

O feijão é uma espécie cujo desempenho é altamente influenciado pelas variações do ambiente, o que resulta em produtividade média baixa e instável ao longo dos anos. No Rio Grande do Sul, as grandes oscilações observadas nos níveis de produtividade são reflexo, principalmente, da sensibilidade dos genótipos às flutuações climáticas.

A interação de cultivares com ambientes por ser um dos maiores problemas para os programas de melhoramento porque restringe o progresso da seleção, tem merecido atenção especial dos melhoristas de plantas.

Tai (1971) apontou duas estratégias que podem ser utilizadas para contornar a influência da interação genótipo x ambiente: (1) a subdivisão de áreas heterogêneas em subáreas homogêneas, cada uma tendo suas cultivares específicas, e (2) o uso de cultivares de alta estabilidade de rendimento em ambiente variável. Julgou, porém, a primeira pouco eficaz, principalmente pela impossibilidade de reduzir a interação genótipo x ano pela simples limitação da área de cultivo. Eberhart & Russell (1966) também discutiram este aspecto. Consideraram que, mesmo com a estratificação de ambientes baseada em diferenças macroambientais, a interação de genótipos com locais dentro de uma sub-região e com ambientes do mesmo local correspondentes a anos diferentes, freqüentemente, permanece alta.

A maioria dos pesquisadores sugere como procedimento mais racional de controlar as interações genótipo x ambiente a utilização de cultivares que mostrem um alto grau de estabilidade de desempenho em uma gama convenientemente ampla de ambientes (Oliveira, 1976).

A partir da descoberta de evidências de que a estabilidade de produção e a adaptabilidade ao ambiente são características herdáveis e com a possibilidade de estimá-las através de métodos estatísticos, tais características, de grande interesse para os melhoristas, tornaram-se passíveis de melhoramento.

Todos os métodos que visam caracterizar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica fundamentam-se nas interações entre genótipos e ambientes. O mais antigo deles consiste em uma análise da variância

conjunta de um experimento conduzido em vários locais numa sucessão de anos. Desta forma, determinam-se não somente os efeitos principais atribuíveis a cultivares, locais e anos, mas também as magnitudes das interações cultivar x local, cultivar x ano e cultivar x local x ano (Oliveira, 1976).

Ulteriormente, vários métodos foram sugeridos (Yates & Cochran, 1938; Plaisted & Peterson, 1959; Wricke, 1962; Finlay & Wilkinson, 1963; Eberhart & Russell, 1966; Tai, 1971; Shukla, 1972; Verma et al., 1978; Cruz et al., 1989; Silva, 1998). Os métodos clássicos de Finlay & Wilkinson (1963) e Eberhart & Russell (1966), baseados na análise de regressão linear, têm sido os mais usados.

O método de Finlay & Wilkinson (1963) consiste na análise de regressão linear simples do rendimento médio de cada genótipo em relação à média de todos os genótipos, no intervalo de ambientes de condução do experimento. Os autores utilizam dois parâmetros para caracterizar a estabilidade e a adaptabilidade de um genótipo: o coeficiente de regressão e o rendimento médio.

Para Finlay & Wilkinson (1963), genótipos com coeficientes de regressão em torno de 1,0 possuem estabilidade média; se associados a altos rendimentos, são de adaptabilidade ampla; senão, são pobremente adaptados a todos os ambientes. Coeficientes de regressão maiores que 1,0 caracterizam genótipos com estabilidade abaixo da média e adaptabilidade específica a ambientes favoráveis. Coeficientes de regressão menores que 1,0 indicam estabilidade acima da média e adaptação específica a ambientes pobres. Coeficientes de regressão iguais ou próximos de zero definem estabilidade absoluta.

Eberhart & Russell (1966) estendem o conceito de estabilidade de Finlay & Wilkinson (1963) com a consideração da variância do desvio da regressão como um parâmetro de estabilidade adicional. Definem como genótipo desejável aquele que apresenta rendimento médio alto, coeficiente de regressão igual a 1,0 e pequeno desvio da regressão.

Vencovsky & Barriga (1992) relatam que o método de Eberhart & Russell (1966) tem sido usado com sucesso em diversas espécies cultivadas, tais como, aveia, arroz de sequeiro, trigo, soja, feijão, sorgo, milho e mandioca. Segundo os autores, este método é o mais indicado quando o número de ambientes é pequeno.

Apesar de sua ampla aceitação pela comunidade científica, evidenciada por inúmeras publicações encontradas na literatura, a técnica de regressão linear simples tem sido objeto de críticas. Algumas delas referem-se a violações de pressuposições da metodologia estatística empregada, que não têm conseqüências sérias se são devidamente consideradas as restrições que decorrem para as inferências dela derivadas (Silva, 1995).

Para Knight (1980) é essencial reconhecer que a síntese das características ambientais providas pelo índice de ambiente corresponde a uma transformação que lineariza a resposta média dos genótipos. Como conseqüência, podem ocorrer distorções e confundimento de efeitos de características individuais do ambiente sobre o rendimento, que devem ser levadas em conta em interpretações biológicas.

Carvalho et al. (1982) consideraram o índice de ambiente o melhor estimador do ambiente na análise da interação genótipo x ambiente.

Easton & Clements (1973) reconhecem que os parâmetros do modelo de Eberhart & Russell (1966) detectam comportamentos atípicos, mas recomendam cautela na definição de instabilidade frente a valores altos dos desvios da regressão.

Hardwick & Wood (1972) salientaram que, muitas vezes, desvios de regressão são altamente elevados em decorrência de diferenças substanciais de resposta entre genótipos para mais de uma característica ambiental. De fato, parte do componente não explicado pelas relações lineares pode ser atribuído a características individuais dos genótipos; outra parte pode decorrer da extrema diversidade dos genótipos (Perkins & Jinks, 1968). Sendo assim, um genótipo pode revelar marcante desvio da regressão linear, não por ser inerentemente irregular, mas por mostrar um padrão de resposta diferente da maioria do grupo com o qual é comparado (Silva, 1995).

Verma et al. (1978) e Silva (1995) salientaram que a taxa de resposta linear dos genótipos pode não ser constante na gama de ambientes, e que o genótipo desejável em uma coleção de genótipos é aquele responsivo a ambientes favoráveis ou melhorados e que mantenha rendimentos razoáveis em ambientes adversos.

Silva (1995) comentou que desvios da regressão linear simples elevados podem originar-se da

desconsideração dessas alterações de taxas de resposta e sugere uma extensão do método de regressão linear simples que leva em conta a possibilidade de alteração das taxas de respostas lineares. Silva (1998) adequou esse método para um modelo mais flexível, que considera o ponto de alteração da taxa de resposta como um parâmetro de adaptabilidade, argumentando que ele pode ser uma característica específica da adaptabilidade do genótipo.

O feijão, por ser uma espécie extremamente sensível às variações do ambiente, a partir da década de 80, tem sido alvo de muitas pesquisas relacionadas à interação genótipo x ambiente, principalmente no Brasil (Santos, 1980; Monge, 1981; Pacova et al., 1987; Duarte, 1988; Jobim, 1990; Duarte & Zimmermann, 1992, 1994 e 1995; Miranda et al., 1993; Ramalho et al., 1993).

O presente trabalho teve como objetivo identificar entre genótipos de feijão recomendados para cultivo no Rio Grande do Sul os que apresentam maior adaptabilidade e estabilidade de rendimento em diferentes condições de ambiente, com vistas à sua utilização em programas de melhoramento, bem como direcionar o seu uso pelos produtores das diversas regiões do Estado.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados provêm de um período de seis anos (safras 1988/89 a 1993/94, conforme Tabela 1) de execução do Ensaio Estadual de Feijão (EEF) do Rio Grande do Sul.

O delineamento experimental utilizado em cada ambiente foi o de blocos completos casualizados, com quatro repetições. A parcela constituiu-se de quatro fileiras de 4 m de comprimento com espaçamento de 0,50 m entre fileiras, com uma população ideal de 12 plantas por metro linear. A parcela útil constituiu-se dos 3 m centrais das duas fileiras internas, compreendendo uma área de 3 m<sup>2</sup>. A condução do experimento seguiu as recomendações técnicas para o cultivo de feijão (Instituto de Pesquisas Agro-nômicas, 1986).

Dos conjuntos de genótipos que compuseram o EEF nos anos em consideração, foram selecionados apenas os genótipos que permaneceram no experimento durante os seis anos, ou seja, as cultivares Rio Tibagi, Guateian 6662, EMPASC 201 - Chapecó, FT 120, BR IPAGRO 1 -

Macanudo, BR IPAGRO 2 - Pampa, BR IPAGRO 3 - Minuano, BR IPAGRO 35 - Macotoço, Carioca e Iraí, recomendadas para cultivo no Rio Grande do Sul no período estudado, e a linha experimental CNF 5491 (Tabela 2).

O experimento foi conduzido em 23 locais (municípios) do Rio Grande do Sul. Tendo em vista as diferenças quanto a condições de solo, clima e época de semeadura de um ano para o outro, considerou-se cada local em cada ano como constituindo um diferente ambiente, totalizando 72 ambientes (Tabela 1).

Inicialmente, foram realizadas as análises estatísticas individuais dos 72 ambientes, considerando todos os genótipos que compuseram o EEF, para a obtenção das estimativas dos erros experimentais.

Preliminarmente à análise conjunta do experimento, procedeu-se o teste de homogeneidade da variância do erro para os 72 ambientes, utilizando o método de Bartlett (1937), o qual indicou que os quadrados médios dos erros experimentais dos 72 ambientes estimaram variâncias he-

terogêneas. Não tendo sido encontrada uma transformação que conduzisse à homogeneidade da variância, procedeu-se a análise estatística conjunta da maneira usual para a situação de homogeneidade de variância, efetuando-se o ajustamento dos graus de liberdade da interação genótipo x ambiente e do erro combinado, conforme o método indicado por Pimentel-Gomes (1990).

A análise conjunta dos ambientes foi procedida a partir dos rendimentos médios dos 11 genótipos nos 72 ambientes. As médias foram ajustadas nos casos de perda de parcelas. Os testes de significância referentes aos efeitos principais e à interação genótipo x ambiente foram efetuados pelas apropriadas estatísticas F.

A aplicação do método de regressão segmentada com estimação da junção dos segmentos (Silva, 1998) revelou ausência de significância das alterações das taxas de respostas lineares em todos os genótipos. Nessas circunstâncias, a análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica foi prosseguida por meio do método de regressão linear simples (Finlay & Wilkinson, 1963; Eberhart & Russell, 1966).

**TABELA 1. Data de semeadura em cada um dos 72 ambientes de condução do EEF no Rio Grande do Sul nos anos agrícolas de 1988/89 a 1993/94.**

Local	Ano agrícola					
	1988/89	1989/90	1990/91	1991/92	1992/93	1993/94
Iraí	22/09	28/09	26/09	03/10	-	11/10
Frederico Westphalen	29/09	27/09	11/09	02/10	-	-
Canguçu	22/10	30/10	26/10	22/10	07/10	22/10
Erexim	21/10	20/10	-	22/10	20/10	-
Maquiné	19/09	21/09	06/09	10/09	21/10	08/10
Sobradinho	-	-	18/10	01/10	-	-
Pelotas	16/10	19/10	-	-	01/10	08/10
Capão do Leão	23/10	-	-	-	-	23/11
Cruz Alta	30/09	-	28/09	02/10	-	-
Santa Maria	28/09	29/09	-	12/09	30/09	-
Santa Rosa	22/09	-	-	-	-	-
Encruzilhada do Sul	07/10	05/10	26/09	01/10	02/10	08/10
Estrela	16/09	19/09	25/09	-	01/10	-
Coronel Bicaco	29/09	-	-	-	-	-
Arroio do Tigre	-	-	29/09	-	-	-
Júlio de Castilhos	-	-	28/09	21/10	-	-
Sarandi	-	-	18/10	03/10	07/10	16/10
Nonoai	-	-	-	16/10	-	-
Caiçara	-	-	-	03/10	-	08/10
Veranópolis	-	-	-	11/10	06/10	14/10
Passo Fundo	-	-	-	05/10	01/10	07/10
Santo Augusto	-	-	-	27/09	15/10	26/10
Rio Grande	-	-	-	-	02/10	-

A estimação dos parâmetros e os testes de significância foram realizados pelo procedimento para análise do modelo linear geral (PROC GLM) do Statistical Analysis Systems (SAS Institute, 1989).

O método de regressão linear simples considera o índice de ambiente como estimador do efeito do ambiente e adota a seguinte equação para o modelo estatístico:

$$\bar{Y}_{ij} = m_i + b_i I_j + \varepsilon_{ij}, \quad \varepsilon_{ij} = d_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, g, \quad j = 1, 2, \dots, a,$$

onde:

$\bar{Y}_{ij}$ : rendimento médio observado do genótipo  $i$  no ambiente  $j$ ;

$m_i$ : média esperada do genótipo  $i$  no conjunto dos ambientes;

$b_i$ : taxa de resposta esperada do genótipo  $i$ ;

$I_j$ : índice de ambiente, definido como a diferença entre o rendimento médio de todos os genótipos no ambiente  $j$  e o rendimento médio geral dos genótipos nos  $a$  ambientes:

$$I_j = \bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..};$$

$\varepsilon_{ij}$ : resíduo da regressão do genótipo  $i$  no ambiente  $j$ ;

$d_{ij}$ : desvio entre o efeito da interação genótipo  $\times$  ambiente e seu componente sistemático atribuível à relação linear simples com o índice de ambiente.

$\bar{\varepsilon}_{ij}$ : desvio entre os rendimentos médios observado e esperado do genótipo  $i$  no ambiente  $j$ .

As médias dos genótipos foram comparadas entre si pelo teste de Fisher, e com a média geral dos genótipos nos ambientes, pelo teste  $t$  de Student.

Pela análise de regressão linear simples, as seguintes hipóteses foram testadas para as comparações das taxas de resposta, adotando o nível de significância  $\alpha=0,05$  (Piana, 1996):

Hipóteses 1 - Nulidade da taxa de resposta, separadamente para cada genótipo:

$$\begin{cases} H_0 : b_i = 0 \\ H_A : b_i \neq 0 \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, g$$

Hipóteses 2 - Taxa de resposta igual à taxa de resposta média dos genótipos, para cada genótipo:

$$\begin{cases} H_0 : b_i = 1 \\ H_A : b_i \neq 1 \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, g$$

Hipóteses 3 - Comparações múltiplas das taxas de resposta dos  $g$  genótipos:

$$\begin{cases} H_0 : b_i = b_{i'} \\ H_A : b_i \neq b_{i'} \end{cases} \quad i, i' = 1, 2, \dots, g \quad (i \neq i')$$

Os procedimentos para comparações dos coeficientes de regressão dependem da homogeneidade (ou heterogeneidade) dos resíduos das regressões individuais para os genótipos, que também foi testada pelo teste de Bartlett.

Os desvios das regressões foram comparados pelo procedimento para comparações múltiplas de estimativas de variâncias sugerido por David (1952).

A qualidade do ajustamento da equação de regressão linear, de cada genótipo, foi avaliada por meio do coeficiente de determinação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mais relevantes das análises individuais do presente estudo são apresentados na Tabela 3. Essas análises foram efetuadas com todos os dados disponíveis do EEF de cada ambiente, incluindo os genótipos não considerados no presente trabalho. Observa-se que o índice de ambiente variou entre -1.434 kg/ha e 1.398 kg/ha.

Os resultados da análise da variação conjunta dos 72 ambientes são apresentados na Tabela 4. Os efeitos principais e a interação de genótipo  $\times$  ambiente foram todos significativos ( $P < 0,0001$ ). A significância da variação atribuível à interação genótipo  $\times$  ambiente indica a conveniência de proceder à análise da adaptabilidade e estabilidade fenotípica.

Os resultados dos ajustamentos das retas de regressão dos genótipos revelaram elevada significância ( $P < 0,0001$ ) da relação linear entre rendimento e índice de ambiente, de todos os 11 genótipos. Entretanto, os resíduos dessas regressões também foram altamente significativos ( $P < 0,001$ ) em nove dos 11 genótipos, e significativos ( $P < 0,05$ ) nos outros dois. Apesar de os coeficientes de determinação terem sido relativamente elevados (maior que 0,80), exceto para a cultivar Iraí (0,70), uma parte considerável da variabilidade da resposta de cada genótipo nos 72 ambientes não é explicada pela relação linear.

Observou-se que os QMResíduo das regressões dos 11 genótipos foram aparentemente próximos, exceto os da cultivar Iraí. De fato, a aplicação do teste de Bartlett revelou heterogeneidade de variância dos resíduos dessas regressões, a qual foi considerada nas etapas subsequentes da análise de adaptabilidade.

**TABELA 2. Caracterização dos genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) testados em 72 ambientes, de 1988/89 a 1993/94, no Rio Grande do Sul.**

Genótipo	Cruzamento	Tipo de planta <sup>1</sup>	Grupo comercial	Reação a doenças <sup>2</sup>		
				Antracnose	Crestamento bacteriano comum	Ferrugem
Rio Tibagi	Desconhecido - Origem: Costa Rica.	II	Preto	I	S	S
Guateian 6662	Desconhecido - Origem: Costa Rica	II - III	Preto	R	S	R
EMPASC 201	ICA TUI x S 219 N - 1	II - III	Preto	S	I	R
FT 120	(NEP 2 x ICA PIJAO) x Puebla 173	II	Preto	I	I	I
Macanudo	A 358 x [A 176 x (G 4326 x XAN 40)]	III	Preto	I	I	I
Pampa	G 3627 x EMP 84	II	Preto	I	S	I
Minuano	A 358 x [A 176 x (G 4326 x XAN 40)]	III	Preto	I	S	I
Macotaço	A 358 x [A 176 x (G 4326 x XAN 40)]	III	Preto	S	I	R
CNF 5491	A 358 x [A 176 x (G 4326 x XAN 40)]	III	Preto	S	I	R
Carioca	Desconhecido - Origem: seleção em material de produtor - IAC/SP	III	Carioca	I	S	S
Iraí	Desconhecido - Origem: seleção em material de produtor - SA/RS	I	Manteigão	S	S	I

<sup>1</sup> I: cultivar de crescimento determinado, com inflorescência apical; II: cultivar arbustiva de crescimento indeterminado, ramificação ereta e fechada; III: cultivar de crescimento indeterminado, ramificação aberta e abundante, com tendência a prostrar ou a subir em tutores (Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1976).

<sup>2</sup> R: resistente; I: intermediária; S: suscetível (Silveira & Antunes, 1995).

**TABELA 3. Número de blocos, número de graus de liberdade e quadrado médio do erro, quadrado médio de bloco, rendimento médio, coeficiente de variação e índice de ambiente, de cada um dos 72 ambientes.**

Ambiente Ano <sup>1</sup> - Local <sup>2</sup>	Nº de blocos	GL do erro	QM do bloco	QM do erro <sup>3</sup>	Rendimento médio (kg/ha) <sup>4</sup>	CV (%)	Índice de ambiente <sup>4</sup>
1-3	4	87	57.315	2.469	357	30,6	-1.434
3-9	4	75	33.726	5.761	485	31,7	-1.306
2-13	4	87	431.870	10.287	738	28,0	-1.053
2-2	4	87	27.958	7.408	768	24,3	-1.023
2-3	4	87	92.990	5.864	775	20,0	-1.016
1-11	3	58	431.450	37.682	782	47,8	-1.009
4-6	4	69	175.254	15.038	815	29,5	-976
3-13	4	75	186.042	42.306	823	47,4	-968
5-22	4	69	47.413	11.727	846	26,7	-945
1-12	4	87	93.469	4.313	851	16,4	-940
6-1	4	69	96.313	17.120	915	29,8	-876
3-16	4	75	190.125	19.514	1.055	26,2	-736
1-2	4	87	2.391.493	29.360	1.086	34,3	-705
4-2	4	69	382.907	16.277	1.142	22,9	-649
1-13	4	87	1.640.597	17.497	1.150	26,2	-641
1-8	4	87	2.482.609	9.722	1.181	17,5	-610
3-17	4	75	65.539	17.064	1.220	21,3	-571
1-9	4	87	284.903	9.902	1.224	18,7	-567
4-22	4	69	341.243	19.418	1.315	20,4	-476
3-12	4	75	4.370.736	36.740	1.368	28,9	-423
6-7	4	69	2.705.354	54.908	1.386	32,2	-405
6-21	4	69	646.836	12.991	1.451	15,6	-340

Continua...

TABELA 3. Continuação.

Ambiente Ano <sup>1</sup> – Local <sup>2</sup>	Nº de blocos	GL do erro	QM do bloco	QM do erro <sup>3</sup>	Rendimento médio (kg/ha) <sup>4</sup>	CV (%)	Índice de ambiente <sup>4</sup>
3-1	4	75	950.935	18.366	1.588	17,7	-203
4-3	4	69	246.396	47.042	1.610	26,0	-181
3-15	4	75	1.315.984	32.738	1.630	24,1	-161
5-5	4	69	1.310.023	22.347	1.641	18,1	-150
3-2	4	75	1.257.983	23.904	1.693	19,4	-98
2-7	4	87	2.235.750	42.272	1.726	25,1	-65
2-12	4	87	5.236.875	21.021	1.735	17,1	-56
2-1	4	87	368.487	28.695	1.738	20,4	-53
4-9	4	69	33.521	27.781	1.741	16,9	-50
3-6	4	75	330.766	22.631	1.744	17,5	-47
1-7	3	58	626.737	39.554	1.764	21,1	-27
6-17	4	69	270.413	35.536	1.783	21,6	-8
6-22	4	69	129.379	27.615	1.791	18,8	24
5-21	4	69	109.892	19.167	1.817	15,7	26
4-12	4	69	718.393	30.991	1.822	19,4	31
2-10	4	87	557.942	23.225	1.836	16,9	45
6-19	4	69	1.304.739	16.697	1.852	14,2	61
3-5	4	75	320.126	55.198	1.866	25,7	75
5-17	4	69	249.503	47.652	1.879	23,7	88
5-23	4	67	340.932	45.642	1.886	22,3	95
4-1	4	69	2.475.980	99.609	1.896	33,0	105
1-1	4	87	697.021	41.045	1.923	23,5	132
5-12	4	69	2.755.390	71.701	1.984	26,7	193
4-18	4	69	542.951	35.058	2.016	18,6	225
4-17	4	69	91.920	71.169	2.031	25,5	340
5-10	4	69	1.386.887	98.198	2.056	28,8	365
6-12	4	69	950.128	34.508	2.069	17,3	378
4-20	4	69	1.202.250	45.505	2.089	19,4	398
5-13	4	69	1.308.111	60.890	2.205	21,8	414
5-4	4	69	239.713	71.387	2.222	25,7	431
6-5	4	69	2.904.901	52.074	2.230	20,2	439
1-5	4	87	414.842	36.344	2.263	18,2	472
1-14	4	82	628.885	50.754	2.265	21,7	474
6-8	4	66	113.225	57.558	2.268	22,0	477
4-10	4	69	204.239	58.872	2.376	19,8	585
2-4	4	87	308.052	27.262	2.416	13,7	625
4-5	4	69	2.723.380	26.481	2.464	13,7	673
1-4	4	87	804.942	21.892	2.498	12,7	707
2-5	4	87	1.077.245	27.973	2.523	13,8	732
1-10	4	87	4.508.701	52.117	2.543	19,5	752
4-21	4	66	203.743	41.710	2.544	16,6	753
6-3	4	66	1.371.545	118.806	2.561	25,1	770
3-3	4	75	153.166	23.711	2.564	12,3	773
4-16	4	66	447.581	31.651	2.597	14,3	806
5-3	4	69	308.393	41.851	2.611	16,1	820
5-7	4	69	174.409	28.245	2.657	12,7	866
6-20	4	69	1.825.150	48.396	2.692	16,3	901
4-4	4	66	461.452	95.663	2.849	22,1	1.058

Continua...

**TABELA 3. Continuação.**

Ambiente Ano <sup>1</sup> – Local <sup>2</sup>	Nº de blocos	GL do erro	QM do bloco	QM do erro <sup>3</sup>	Rendimento médio (kg/ha) <sup>4</sup>	CV (%)	Índice de ambiente <sup>4</sup>
5-20	4	69	668.682	54.615	3.045	15,4	1.254
4-19	4	69	438.154	23.514	3.189	10,2	1.398

<sup>1</sup> 1: 1988/89; 2: 1989/90; 3: 1990/91; 4: 1991/92; 5: 1992/93; 6: 1993/94.

<sup>2</sup> 1: Iraí; 2: Frederico Westphalen; 3: Canguçu; 4: Erechim; 5: Maquiné; 6: Sobradinho; 7: Pelotas; 8: Capão do Leão; 9: Cruz Alta; 10: Santa Maria; 11: Santa Rosa; 12: Encruzilhada do Sul; 13: Estrela; 14: Coronel Bicaco; 15: Arroio do Tigre; 16: Júlio de Castilhos; 17: Sarandi; 18: Nonoai; 19: Caiçara; 20: Veranópolis; 21: Passo Fundo; 22: Santo Augusto; 23: Rio Grande.

<sup>3</sup> Para a média de um genótipo em um ambiente.

<sup>4</sup> Esses valores foram determinados excluindo os genótipos não considerados no presente trabalho.

**TABELA 4. Análise da variação conjunta das médias dos 11 genótipos nos 72 ambientes<sup>1</sup>.**

Fonte de variação	GL <sup>2</sup>	SQ	QM	Prob. > F
Genótipo	10	28.021.208	2.802.121	< 0,0001
Ambiente	71	331.278.618	4.665.896	< 0,0001
Bloco/Ambiente	214	49.773.283	232.585	
Genótipo x Ambiente	710 (508)	56.753.035	79.934	< 0,0001
Erro combinado	5350 (3384)	185.750.079	34.720	

<sup>1</sup> Média geral = 1.791,1 kg/ha; Coeficiente de variação = 20,8%.

<sup>2</sup> Entre parênteses, números de graus de liberdade ajustados para levar em conta a heterogeneidade do erro experimental entre ambientes (Pimentel-Gomes, 1990).

Os rendimentos médios, as estimativas dos coeficientes de regressão e das variâncias dos desvios da regressão, bem como os coeficientes de determinação dos 11 genótipos, são apresentados na Tabela 5.

O teste de comparação dos rendimentos médios individuais de cada genótipo com a média geral dos genótipos revelou que Minuano, Macotaço, CNF 5491 e Macanudo apresentaram rendimentos significativamente superiores à média geral. Os rendimentos dos genótipos Rio Tibagi, Guateian 6662, EMPASC 201, Pampa e Iraí foram significativamente inferiores, enquanto FT 120 e Carioca não diferiram significativamente da média geral.

Os resultados das comparações múltiplas entre os rendimentos médios dos genótipos revelaram que Minuano, Macotaço e CNF 5491 não diferiram entre si e foram significativamente superiores aos demais. Os genótipos Macanudo, Carioca e FT 120 revelaram rendimentos intermediários, enquanto os demais

Guateian 6662, EMPASC 201, Iraí, Rio Tibagi e Pampa foram inferiores; nessa ordem.

O teste da hipótese de que a taxa de resposta de cada genótipo à modificação do ambiente não difere da taxa de resposta média do conjunto dos genótipos, em cada um dos genótipos, revelou que somente Guateian 6662 e EMPASC 201 apresentaram taxas de resposta significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ) da taxa de resposta média do conjunto dos genótipos. As taxas de resposta dos demais genótipos não diferiram significativamente de 1,0, ressalvando-se, no entanto, que a cultivar Macanudo apresentou taxa de resposta cuja diferença de 1,0 aproximou-se do nível de significância ( $\alpha=0,05$ ).

Os resultados das comparações múltiplas das taxas de resposta dos genótipos revelaram a formação de três grupos de genótipos quanto à variação linear da resposta com o incremento do índice de ambiente, que se interseccionam. Pode se observar que as taxas de resposta dos genótipos Macanudo, Pampa, Minuano, Macotaço e CNF 5491 foram significativamente superiores à taxa de resposta dos genótipos Rio Tibagi, Guateian 6662 e EMPASC 201. Os demais genótipos apresentaram taxas de respostas intermediárias às desses dois grupos.

Os resultados das comparações das variâncias dos desvios das regressões dos 11 genótipos revelaram que a variância do desvio da regressão correspondente à cultivar Iraí foi significativamente superior às variâncias dos demais genótipos, e que essas não diferiram significativamente entre si, o que pode ser explicado pelo fato de as plantas da cultivar Iraí serem de Tipo I, sendo as plantas dos demais genótipos de Tipo II ou III. Plantas de Tipo I se caracterizam basicamente por apresentarem hábito de

**TABELA 5. Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica e coeficiente de determinação, segundo o método de regressão linear simples, para cada um dos 11 genótipos, e comparações dessas estimativas.**

Genótipo	Rendimento <sup>1</sup> (kg/ha)	$\hat{b}^2$	$s_d^2$	$r^2$
Rio Tibagi	* 1.584 d	ns 0,931 bc	*** 26.070 a	0,86
Guateian 6662	* 1.687 c	* 0,897 c	*** 29.529 a	0,84
EMPASC 201	* 1.597 cd	* 0,902 c	* 12.545 a	0,88
FT 120	ns 1.810 b	ns 0,997 abc	*** 22.339 a	0,88
Macanudo	* 1.887 b	ns 1,079 a	* 14.012 a	0,91
Pampa	* 1.584 d	ns 1,043 ab	*** 39.799 a	0,86
Minuano	* 2.104 a	ns 1,050 ab	*** 25.950 a	0,89
Macotaço	* 2.023 a	ns 1,039 ab	*** 28.132 a	0,88
CNF 5491	* 2.022 a	ns 1,079 a	*** 31.492 a	0,88
Carioca	ns 1.811 b	ns 1,000 abc	*** 26.460 a	0,88
Iraí	* 1.592 d	ns 1,002 abc	*** 153.409 b	0,70
Média geral	1.791,1			

<sup>1</sup> Rendimentos médios de genótipos não seguidos de mesma letra diferiram significativamente ( $\alpha=0,05$ ) entre si, pelo teste dms de Fisher; ns e \* à esquerda dos valores de rendimentos médios indicam, respectivamente, diferenças não significativa e significativa ( $\alpha=0,05$ ) entre o rendimento médio de cada genótipo e a média geral dos 11 genótipos.

<sup>2</sup> Estimativas de coeficientes de regressão não seguidas de mesma letra diferiram significativamente ( $\alpha=0,05$ ) entre si, pelo teste dms de Fisher; ns e \* à esquerda das estimativas de coeficientes de regressão indicam, respectivamente, diferenças não-significativa e significativa ( $\alpha=0,05$ ) entre a estimativa do coeficiente de regressão de cada genótipo e coeficiente de regressão médio dos 11 genótipos ( $b=1$ ).

<sup>3</sup> Estimativas de variâncias de desvios da regressão não seguidas de mesma letra diferiram significativamente ( $\alpha=0,05$ ) entre si, pelo teste de David; \* e \*\*\* à esquerda das estimativas de desvio da regressão indicam desvio da regressão significativo ( $P<0,05$ ) e altamente significativo ( $P<0,001$ ), respectivamente.

crescimento determinado e ciclo biológico curto, o que viria a contribuir para que esse tipo resista menos aos estresses ambientais. Já as plantas de Tipo II ou III, com ciclo reprodutivo mais longo, teriam maior capacidade de superar as adversidades do ambiente, mantendo comportamento mais uniforme.

Com base nos critérios sugeridos por Eberhart & Russell (1966), nenhum dos 11 genótipos apresentou todos os requisitos de um genótipo desejável. As variâncias dos desvios das regressões, altamente significativas, indicam que os 11 genótipos não são estáveis, destacando-se a cultivar Iraí como a mais instável.

Os genótipos apresentaram diferenças quanto à produtividade e à taxa de resposta. Definindo-se os níveis de adaptabilidade a partir dos valores de produtividade média e taxa de resposta, os genótipos foram classificados como: Minuano, Macotaço, CNF 5491 e Macanudo apresentaram taxas de resposta 1,0 e rendimentos médios acima da média, o que caracteriza adaptabilidade geral; Rio Tibagi,

Pampa e Iraí revelaram taxa de resposta 1,0 e rendimentos médios abaixo da média, caracterizando-se como genótipos pobremente adaptados a todos os ambientes; Guateian 6662 e EMPASC 201 mostraram taxas de resposta inferiores a 1,0 e rendimentos médios inferiores à média, o que significa adaptação específica a ambientes pobres; os genótipos FT 120 e Carioca revelaram taxas de resposta 1,0, e rendimentos médios intermediários, significando adaptação média a todos os ambientes.

Examinando a genealogia dos genótipos (Tabela 2), observa-se que Minuano, Macotaço, CNF 5491 e Macanudo, que não apresentaram diferenças significativas entre si quanto à estabilidade, adaptabilidade e produtividade média, provêm do mesmo cruzamento, ou seja, originaram-se de linhas experimentais irmãs. Em contraposição aos resultados obtidos por Osório (1979), a similaridade de comportamento entre os genótipos aparentados é uma forte indicação de que adaptabilidade e estabilidade estão sob controle genético.

Outro aspecto a ser considerado é a independência com que os genótipos expressam os caracteres adaptabilidade e estabilidade de rendimento, o que pode ser uma evidência de que estas características sejam controladas por dois sistemas gênicos diferentes, conforme foi sugerido por Verma et al. (1978).

Jobim (1990) utilizou o método de regressão linear simples para classificar quanto à estabilidade e à adaptabilidade 22 genótipos de feijão cultivados em dez ambientes do Rio Grande do Sul. Dos conjuntos de genótipos e de ambientes avaliados pela autora, oito genótipos (Rio Tibagi, Guateian 6662, EMPASC 201, FT 120, Macanudo, Pampa, Carioca e Iraí) e quatro ambientes (1988/89-Iraí, 1988/89-Erexim, 1988/89-Maquiné, e 1988/89-Pelotas) são comuns aos utilizados no presente trabalho. Conforme os resultados de Jobim (1990), apenas as cultivares FT 120 e Iraí apresentaram variâncias dos desvios das regressões significativas. Rio Tibagi, Guateian 6662, EMPASC 201, Macanudo, Pampa e Carioca, foram consideradas estáveis. Quanto aos níveis de adaptabilidade, agrupou as cultivares estáveis em três categorias: a primeira, reuniu os genótipos Guateian 6662, Carioca e EMPASC 201 com adaptabilidade ampla ( $b=1$ ) e rendimentos intermediários; a segunda, incluiu os genótipos Macanudo e Pampa com adaptação específica a ambientes favoráveis ( $b>1$ ) e rendimentos superiores; a cultivar Rio Tibagi compôs a terceira categoria que apresentou adaptação específica a ambientes desfavoráveis ( $b<1$ ).

A discrepância entre os resultados obtidos no presente estudo e naquele de Jobim (1990), provavelmente, se deve aos diferentes conjuntos de genótipos e de ambientes analisados.

### CONCLUSÕES

1. Os genótipos Minuano, Macotaço, CNF 5491 e Macanudo, aparentados e com plantas Tipo III, são os mais produtivos e melhor adaptados aos diferentes ambientes.

2. Os genótipos Rio Tibagi, Pampa e Iraí caracterizam-se como pobremente adaptados a todos os ambientes.

3. Os genótipos Guateian 6662 e EMPASC 201 revelam adaptação específica a ambientes pobres.

4. Os genótipos FT 120 e Carioca apresentam adaptação média a todos os ambientes.

5. Nenhum dos genótipos revela estabilidade fenotípica.

### REFERÊNCIAS

- BARTLETT, M.S. Some examples of statistic methods of research in agriculture and applied biology. **Journal of Royal Statistics Society**, v.4, p.137-183, 1937.
- CARVALHO, F.I.F.; FEDERIZZI, L.C.; NODARI, R.O.; FLOSS, E.; GANDIN, C.L. Analysis of estabily parameters and of genotype x environment interaction in oats grain yield in Rio Grande do Sul (Brazil). **Revista Brasileira de Genética**, v.3, p.517-532, 1982.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. **Condiciones de campo para realizar las evaluaciones del germoplasma de frijol**. Cali, 1976. 11p.
- CRUZ, C.D.; TORRES, R.A.A.; VENCOSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, v.12, n.2, p.567-580, 1989.
- DAVID, H.A. Upper 5 and 1% points of the maximum F-ratio. **Biometrika**, v.39, p.422-424, 1952.
- DUARTE, J.B. **Estudo da adaptabilidade e estabilidade fenotípica em linhagens e cultivares de feijão mulatinho (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Goiânia: UFG, 1988. 155p. Dissertação de Mestrado.
- 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.
- DUARTE, J.B.; ZIMMERMANN, M.J. de O. Comparison of three methods used for the study of adaptation and phenotypic stability in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Genética**, v.15, n.1, p.125-136, 1992.
- DUARTE, J.B.; ZIMMERMANN, M.J. de O. Correlation among yield stability paramaters in common bean. **Crop Science**, v.35, n.3, p.905-912, 1995.
- EASTON, H.S.; CLEMENTS, R.J. The interaction of wheat genotypes with a specific factor of the

- environment. **Journal of Agricultural Science**, v.80, p.43-52, 1973.
- EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v.6, p.36-40, 1966.
- FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.14, p.742-754, 1963.
- HARDWICK, R.C.; WOOD, J.T. Regression methods for studying genotype-environment interactions. **Heredity**, v.28, p.209-222, 1972.
- INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. **Recomendações para a cultura do feijão**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1986. 46p.
- JOBIM, C.I.P. **Utilização de variáveis ambientais na análise da interação genótipo x ambiente em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Porto Alegre: UFRGS, 1990. 85p. Dissertação de Mestrado.
- KNIGHT, R. The measurement and interpretation of genotype environment interactions. **Euphytica**, v.19, p.225-235, 1980.
- LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Rio de Janeiro: IBGE, v.8, n.5, p.1-70, 1996.
- MIRANDA, G.V.; VIEIRA, C.; CRUZ, C.D.; ARAÚJO, G.A. de A. Adaptabilidade e estabilidade de comportamento de cultivares de feijão em quatro municípios da Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Ceres**, v.15, n.232, p.591-609, 1993.
- MONGE, R.A. **Adaptabilidade e estabilidade de comportamento de linhagens e cultivares de feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.) em 124 ensaios internacionais**. Viçosa: UFV, 1981. 50p. Dissertação de Mestrado.
- OLIVEIRA, A.C. **Comparação de alguns métodos de determinação da estabilidade em plantas cultivadas**. Brasília: UnB, 1976. 64p. Dissertação de Mestrado.
- OSÓRIO, E.A. **Estabilidade de rendimento de variedades de trigo**. Pelotas: UFPEL, 1979. 53p. Tese de Professor Titular.
- PACOVA, B.E.V.; CANDAL NETO, J.F.; GUIDONI, A.L.; SANTOS A.F. dos; VARGAS, A.A.T.; DESSAUNE FILHO, N.D. Adaptação e estabilidade fenotípica de cultivares de feijão preto no estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, n.5, p.491-500, maio 1987.
- PERKINS, J.N.; JINKS, J.L. Environmental and genotype-environmental components of variability. IV. Non-linear interactions for multiple inbred lines. **Heredity**, v.23, p.525-535, 1968.
- PIANA, C.F. de B. **Análise de adaptabilidade e estabilidade do rendimento de grãos de genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no Rio Grande do Sul**. Pelotas: UFPEL, 1996. 81p. Dissertação de Mestrado.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 13.ed. São Paulo: Nobel, 1990. 467p.
- PLAISTED, R.L.; PETERSON, L.C. A technique for evaluating the ability of selection to yield consistently in different locations or seasons. **American Potato Journal**, v.36, p.381-385, 1959.
- RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B. dos; ZIMMERMANN, M.J. de O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 1993. 271p.
- SANTOS, J.B. **Estabilidade fenotípica de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) nas condições do sul de Minas Gerais**. Piracicaba: ESALQ, 1980. 110p. Dissertação de Mestrado.
- SAS INSTITUTE. **SAS User's Guide: statistics**. Version 6., 4.ed. Cary, NC, 1989. v.2, 846p.
- SHUKLA, G.K. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. **Heredity**, v.29, p.237-245, 1972.
- SILVA, J.G.C. da. Análise da adaptabilidade por regressão segmentada com estimação da junção dos segmentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.7, p.1013-1029, 1998.
- SILVA, J.G.C. da. Análise da estabilidade através de regressão linear segmentada. I. Fundamentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.4, p.435-448, abr. 1995.
- SILVEIRA, E.P.; ANTUNES, I.F. **Cultura do feijão: informações técnicas para cultivo**. Porto Alegre: EMATER, 1995. 20p.

- TAI, G.C.C. Genotype stability analysis and its application to potato regional trials. **Crop Science**, v.11, p.184-190, 1971.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486p.
- VERMA, M.M.; CHAHAL, G.C.; MURTY, B.R. Limitations of conventional regression analysis; a proposed modification. **Theoretical and Applied Genetics**, v.53, p.89-91, 1978.
- WRICKE, G. Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. **Zeitschrift fuer Pflanzenzuchtung**, v.52, p.92-96, 1962.
- YATES, F.; COCHRAN, W.G. The analysis of groups of experiments. **Journal of Agricultural Science**, v.28, p.556-580, 1938.