

UTILIZAÇÃO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS E ÍNDICE DE DOENÇA NA ANÁLISE DA INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE EM FEIJÃO¹

CARMEN ILSE PINHEIRO JOBIM², SERGIO LUIZ WESTPHALEN³, LUIZ CARLOS FEDERIZZI⁴

RESUMO - A análise da interação genótipo x ambiente foi realizada para o rendimento de grãos de 22 genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), testados em cinco locais diferentes do Rio Grande do Sul em dois anos. Os parâmetros da estabilidade foram estimados pelo modelo de regressão linear de EBERHART e RUSSEL (1966). O índice ambiental, variáveis ambientais meteorológicas e índices de doença foram usados no modelo como avaliadores do ambiente, visando comparar a sua eficiência. O índice ambiental foi melhor estimador do ambiente, enquanto que as variáveis meteorológicas e índices de doenças foram pouco precisos na estimação.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, observação meteorológica, doença de planta.

USE OF ENVIRONMENTAL VARIABLES AND DISEASE INDEX FOR GENOTYPE X ENVIRONMENT INTERACTION IN COMMON BEAN

ABSTRACT - Genotype x environment interaction was performed on grain yield of twenty-two genotypes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown at five different locations in Rio Grande do Sul, during two years. The stability parameters were estimated by linear regression model of EBERHART and RUSSEL (1966). In addition, the environmental index of the model was obtained by weather variables and disease index. The best estimator of the environment was the normal environmental index, whereas the weather variables and disease index failed to provide a good estimation.

Key words: *Phaseolus vulgaris*, weather variable, plant disease.

INTRODUÇÃO

Genótipos de feijão, freqüentemente, mostram variações na resposta a diferentes ambientes. Esta resposta errática é devido à interação genótipo x ambiente que dificulta a recomendação de cultivares. Além disso, os efeitos desta interação podem reduzir o progresso de seleção (COMSTOCK e MOLL, 1963). Várias metodologias foram propostas para estudo da estabilidade, porém os métodos baseados em análise de regressão são os preferidos (DUARTE, 1988). O modelo por regressão linear de EBERHART e RUSSEL (1966) tem sido o mais usado, provavelmente por sua simplicidade e relevância biológica (BECKER e LEON, 1988).

Segundo o método de EBERHART e RUSSEL (1966), genótipo ideal é aquele com rendimento médio alto, coeficiente de regressão linear igual à unidade e os menores desvios da regressão. Neste modelo, o coeficiente de regressão

estima a adaptabilidade do genótipo, ou a sua resposta à melhoria do ambiente e os desvios da regressão medem a sua estabilidade, ou sua resposta às flutuações ambientais.

Originalmente, EBERHART e RUSSEL (1966) propuseram, para valor do ambiente, o índice ambiental, obtido pela diferença entre as médias dos genótipos testados no local considerado e a média geral. No entanto, os autores reconhecem a desvantagem de índices ambientais dependentes, que conduzem a teste de significância não exatos. Segundo eles, este índice será satisfatório até que o ambiente possa ser quantificado através de medidas físicas adequadas e utilizáveis. Desde então, o índice ambiental passou a ser amplamente utilizado na análise da estabilidade. Porém, FREEMAN e PERKINS (1971) e LIN et al. (1986) consideraram que seu uso infringe pressuposições fundamentais de análise da regressão; somente o uso de medidas independentes torna válido o modelo.

Avaliações independentes do ambiente

1. Parte da tese de Mestrado do primeiro autor, Faculdade de Agronomia, UFRGS (agosto de 1990).

2. Eng. Agr., M.Sc. - Equipe de Fitotecnia, FEPAGRO. Rua Gonçalves Dias 570, 90130-060 Porto Alegre, RS.

3. Eng. Agr., M.Sc. - Falecido em março de 1990.

4. Eng. Agr., Ph. D. - Prof. do Departamento de Plantas de Lavoura, Faculdade de Agronomia, UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, 90540-000 Porto Alegre, RS.

Recbido para publicação em 20/02/1997.

podem ser obtidas por medições de fatores físicos, como observações meteorológicas, infestação de pragas e incidência de doença no experimento. Este estudo foi formalizado, inicialmente, por ABOU-EL-FITTOUH et al. (1969) que encontraram associação entre as variáveis físicas do ambiente e a interação.

Da mesma forma, HARDWICK e WOOD (1972) e PERKINS (1972) foram bem sucedidos na previsão da estabilidade de genótipos por regressão múltipla com variáveis físicas do ambiente. Recentemente SAEED e FRANCIS (1984) determinaram, com sucesso, os efeitos de variáveis meteorológicas sobre o rendimento de sorgo, através de análise de regressão múltipla. Para estes autores, informações sobre a contribuição dos fatores físicos na interação genótipo x ambiente são úteis para entender a natureza dessas interações e estabelecer procedimentos de seleção de genótipos mais tolerantes às variações ambientais. Por outro lado, alertam sobre a necessidade de usar grupos de genótipos com diferenças mínimas no ciclo, considerando que as flutuações meteorológicas e as incidências de doenças e pragas afetam a resposta da planta diferentemente, dependendo do estágio de desenvolvimento.

No entanto, o valor do ambiente obtido a partir de fatores ambientais físicos exige uma amostragem ambiental cuidadosa (EBERHART e RUSSEL, 1966). Além disso, tais fatores variam no tempo, em intensidade e duração, dificultando a determinação de seus efeitos sobre os genótipos (FREEMAN e PERKINS, 1971), e a complexidade do ambiente, dificilmente, pode ser representada por fatores físicos isolados (FINLAY e WILKINSON, 1963).

Em relação ao feijoeiro, os aspectos ambientais mais importantes registrados pela

literatura são as condições hídrica, térmica e de sanidade a que são submetidas as plantas (PASTOR-CORRALES, 1985; WHITE e IZQUIERDO, 1989). Porém, não há informações sobre a associação destes fatores ambientais com a interação genótipo x ambiente.

O objetivo deste estudo foi testar a eficiência da utilização de variáveis ambientais meteorológicas e de doença como estimadoras do valor do ambiente na análise da estabilidade de genótipos de feijão.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de rendimento de grãos obtidos no Ensaio Estadual de linhagens e cultivares conduzido sob a coordenação da COMISSÃO ESTADUAL DE PESQUISA DE FEIJÃO (1987), nas safras de 1987/88 e 1988/89, foram utilizados para este estudo. Duas safras correspondem ao número de anos usual de teste de um genótipo no Ensaio Estadual. Após, ou o genótipo é recomendado, ou é descartado.

O delineamento experimental utilizado nos dois anos foi o de blocos completos casualizados com quatro repetições e área útil de 3 m². A instalação e a condução do experimento seguiram as recomendações técnicas para o cultivo de feijão (INSTITUTO, 1986). Somente os 22 genótipos descritos na Tabela 1 foram utilizados, por estarem incluídos no experimento em ambos os anos, nos cinco locais considerados (Tabela 2).

Os dados foram submetidos à análise da variância conjunta, considerando os efeitos de genótipo, local e ano aleatórios (Tabela 3). As diferenças entre as médias dos genótipos foram testadas pelo DMS a 5% (STEEL e TORRIE, 1980).

TABELA 1 - Genealogia dos genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) testados em cinco locais, em 1987/88 e 1988/89, no Rio Grande do Sul

GENÓTIPOS	GENEALOGIA
A 236	[IPA 7419 x G4000]
BAT 429	[22G ₄ x P1310797] x [Turrialba x Cornell 49-242]
CAPIXABA PRECOCE*	Porrillo Sintético x Compuesto Negro del Chimaltenango2]
CARIOCA *	Desconhecido
CNF 3975	[ICA PIJAO x Puebla 152]
CNF 5483	A358x[A176x(G4326xXAN40)]
CNF 5493	G 3627 x EMP84
CNF 5494	A358x[A176x(G4326xXAN40)]
EMPASC 201 *	ICA TUI x S219 N-1
FT 83-120	[NEP2 x ICA PIJAO] x Puebla 173
FT 84-86	[Rio Tibagi x Puebla 173] x MD450
FT 84 -158	[Rio Tibagi x Puebla 173] x Sel. P511A
FT 84-398	[Rio Tibagi x Puebla 173] x H876
FT TARUMÃ	[NEP2 x ICA PIJAO] x F4[Rio Negro x Cornell 49-242]
GUATEIAN 6662 *	Desconhecida
IRAI *	Desconhecida
LM 30063	[Jamapa x Roxão]
LM30074	[Jamapa x Canário 101]
MAQUINÉ *	Desconhecida
RIO NEGRO *	[Turrialba 4 x Cornell 49-242] x [Rio Tibagi x Cornell 49-242]
RIO TIBAGI *	Desconhecida
TURRIALBA 4*	Desconhecida

*Cultivar já recomendado por ocasião da realização dos experimentos.

TABELA 2 - Locais, data de semeadura e caracterização, edáfica e geográfica, dos ensaios estaduais

Locais	Data da Semeadura		Unidade de Mapeamento do Solo	Latitude	Longitude	Altitude
	1987/88	1988/89				
Erexim	21/10	21/10	Erexim	27°37'46"	52°16'33"	760m
Iraí	18 e 19/09	22/09	Ciriaco- Charrua	27°11'45"	53°14'01"	222m
Osório	25/09	19/09	Vila	29°40'49"	50°13'56"	32m
Pelotas	22/10	12/10	Camaquã (Ca ₂)	31°45'00"	52°21'00"	13m
Sobradinho	06/10	09/10	Ciriaco	29°26'00"	52°59'00"	460m

TABELA 3 - Distribuição dos graus de liberdade, quadrado médio esperados e F-teste estimado para a análise da variância conjunta, considerando os efeitos de genótipos, anos e locais como aleatórios

Fonte de variação	GL ¹	QM ²	QM Esperados	F-teste
Repetições	(r - 1)	-		
Genótipos	(g - 1)	QM1	$\sigma_e^2 + r\sigma_{gal}^2 + ra\sigma_{al}^2 + rl\sigma_{la}^2 + rla\sigma_{al}^2$	QM1/QM6
Locais	(l - 1)	QM2	$\sigma_e^2 + r\sigma_{gal}^2 + ra\sigma_{al}^2 + rg\sigma_{al}^2 + rga\sigma_{al}^2$	QM2/QM6
Anos	(a - 1)	QM3	$\sigma_e^2 + r\sigma_{gal}^2 + rg\sigma_{al}^2 + rl\sigma_{ga}^2 + rgl\sigma_{ga}^2$	QM3/QM6
Locais x Anos	(l - 1)(a - 1)	-		
Genótipos x Locais	(g - 1)(l - 1)	QM4	$s_e^2 + rs_{gal}^2 + ras_{al}^2$	QM4/QM6
Genótipos x Anos	(g - 1)(a - 1)	QM5	$s_e^2 + rs_{gal}^2 + rls_{ga}^2$	QM5/QM6
Genótipos x Anos x Locais	(g - 1)(a - 1)(l - 1)	QM6	$s_e^2 + rs_{gal}^2$	QM6/QME
Erro	(r - 1)(gal - 1)	QME	s_e^2	
Total	(rgal - 1)			

¹g, a, l, r representam, respectivamente, o número de genótipos, número de anos, número de locais e o número de repetições testadas.

- σ^2_e = variância do erro
 σ^2_g = variância dos genótipos
 σ^2_l = variância dos locais
 σ^2_a = variância dos anos
 σ^2_{ga} = variância da interação genótipo x ano
 σ^2_{gl} = variância da interação genótipo x local
 σ^2_{gal} = variância da interação genótipo x local x ano

As estimativas dos parâmetros da estabilidade, média (Y_i), coeficiente de regressão linear (b_i) e quadrado médio dos desvios da regressão ($\sigma^2 d_i$), para todos os genótipos nos ambientes, foram estimados segundo EBERHART e RUSSEL (1966), conforme o modelo: $Y_{ij} = \mu_i + \beta_i Z_j + \sigma_{ij} + \varepsilon_{ij}$, onde:

Y_{ij} é a média do genótipo i , no ambiente j ;

μ_i é a média do genótipo i , em todos os ambientes;

β_i é o coeficiente de regressão do genótipo i , em todos os ambientes;

σ_{ij} é o desvio do genótipo i , em relação à sua linha de regressão no ambiente j ;

ε_{ij} é o resíduo associado a média;

Z_j é a medida da característica do ambiente (I_j ou cada uma das variáveis ambientais).

No caso: I_j é o índice ambiental, obtido pela diferença entre o rendimento médio de todos os genótipos no ambiente j ($Y_{.j}$) e o rendimento médio geral dos genótipos nos ambientes ($Y_{...}$), ou: $I_j = Y_{.j} - Y_{...}$

As variáveis ambientais foram definidas por observações meteorológicas e avaliações de doenças. Os registros meteorológicos obtidos para cada local foram:

a) **precipitação**, em mm, correspondendo à quantidade de precipitação ocorrida durante o ciclo da cultura;

b) **XTMIN**, em °C, correspondendo à média das temperaturas mínimas ocorridas durante os primeiros trinta dias do ciclo da cultura;

c) **TMIN**, em °C, correspondendo à temperatura mínima ocorrida durante os primeiros trinta dias do ciclo da cultura;

d) **XTMAX**, em °C, correspondendo à média das temperaturas máximas ocorridas entre os 60° e 90° dias do ciclo da cultura;

e) **TMAX**, em °C, correspondendo à temperatura máxima ocorrida entre os 60° e 90° dias do ciclo da cultura;

f) **TMED**, em °C, correspondendo à média das temperaturas médias ocorridas durante o ciclo da cultura;

g) **U.R.**, em %, correspondendo à umidade relativa média ocorrida entre os 60° e 90° dias do ciclo da cultura.

As variáveis referentes à incidência de doenças foram estabelecidas a partir de leituras diretas dos experimentos. A escala de notas utilizada foi de 1 a 9 para avaliação de germoplasma, conforme recomendação da COMISSÃO ESTADUAL DE PESQUISA DE FEIJÃO (1987).

Os índices que qualificaram os ambientes, quanto às doenças, corresponderam à ponderação das notas de doenças ocorrida nos 22 genótipos testados, em cada ambiente, em relação ao potencial de máxima severidade da doença. Os índices de doença (Id) foram calculados, conforme McKINNEY (1923), por:

$$Id = \frac{\sum(vxf)}{N \times M}$$

onde:

v = nota de doença na leitura;

f = número de genótipos a que foi atribuído a nota;

N = número de genótipos amostrados;

M = nota máxima da escala adotada.

As variáveis consideradas foram:

a) **IDA**, correspondendo ao índice de doença causada por antracnose [*Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc & Magn.) Briosi & Cav.];

b) **IDB**, correspondendo ao índice de doença causada pelo crestamento bacteriano comum [*Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* (Smith) Dye];

c) **IDF**, correspondendo ao índice de doença causada por ferrugem [*Uromyces phaseoli* (Reben) Wint.].

Foi aplicado o T-teste a 1% para testar a significância estatística de $H_0: b_i=0$ e $H_0: b_i=1$. A significância estatística para a variância dos desvios da regressão ($\sigma^2 d_i$) foi testada através do teste:

$$F = \frac{\sigma^2 d_i}{QME}$$

onde QME é o quadrado médio do erro da análise conjunta.

Foram obtidos os coeficientes de determinação (r^2) do rendimento de grãos com o índice ambiental e com as variáveis ambientais, visando quantificar os efeitos lineares da variação total (STEEL e

TORRIE, 1980).

Depois, executou-se o cálculo de regressão escalonada do rendimento de grãos sobre as variáveis ambientais, inclusive o índice ambiental, conforme a estatística C_p proposta por MALLOWS (1973), através do procedimento STEPWISE. No modelo, o critério para seleção é definido como $C_p = (SSE_p/s^2) - (N - 2 \cdot p)$, onde C_p é a medida do quadrado do erro total; s^2 é o quadrado médio do erro do modelo completo; SSE_p é a soma do quadrado do erro para o modelo com p parâmetros, incluindo o intercepto, se houver. O propósito foi selecionar entre as variáveis ambientais utilizadas, aquelas que melhor se ajustavam ao modelo de predição da regressão, e estabelecer um índice linear para as variáveis ambientais que associaram-se ao modelo. Foram consideradas associadas as variáveis com coeficientes de regressão significativas até 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da variância conjunta (Tabela 4) revelou que os efeitos isolados do genótipo, local e ano apresentaram variações altamente significativas. Logo, os genótipos avaliados apresentaram a variabilidade de rendimento, demonstrando a possibilidade de seleção dos genótipos superiores. Por outro lado, a diferença significativa encontrada entre locais, anos e a

interação genótipo x local x ano evidencia a necessidade de os genótipos serem submetidos a um adequado número de ambientes. Estes devem representar as possíveis variações de ambiente que os genótipos testados encontrarão, quando recomendados comercialmente.

Entre as interações analisadas (Tabela 4), somente a interação triplice, entre genótipos x locais x anos, mostrou variações significativas. Segundo ALLARD e BRADSHAW (1964), este tipo de interação é provocada por variações ambientais imprevisíveis, tais como as flutuações do tempo (principalmente precipitação e temperatura). Anteriormente, COMSTOCK e MOLL (1963) já demonstraram que estas interações reduzem o processo de seleção. Além disso, a presença destas interações indica a existência de genótipos específicos para determinados ambientes e, possivelmente, genótipos menos responsivos às variações ambientais. A consequência direta no melhoramento é o comprometimento da recomendação de cultivares, quando utilizada apenas a média dos rendimentos como critério de seleção.

O desempenho médio dos genótipos testados, representado pelos parâmetros da estabilidade (média, b_i e $\sigma^2 d_i$), obtidos via índice ambiental, está apresentado na Tabela 5. Em relação à média dos 22 genótipos avaliados, sete apresentaram rendimento de grãos superior à média do experimento.

TABELA 4- Análise da variância do rendimento de grão ($g/3m^2$) de 22 genótipos de feijão testados em cinco locais e dois anos, em 1987/88 e 1988/89, no Rio Grande do Sul

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F-teste	
Repetição	3	653 094,84	217 698,28	-	
Genótipo	21	2 277 375,95	108 446,47	2,30	**
Local	4	2 3209 415,15	5 802 353,79	122,81	**
Ano	1	2 530 799,71	2 530 799,71	53,56	**
Local x Ano	9	-	-	-	
Genótipo x Local	84	2 051 928,71	24 427,72	0,52	
Ano x Genótipo	21	474 458,42	22 593,26	0,48	
Ano x Genótipo x Local	88	4 157 675,99	47 246,32	3,38	**
Resíduo	657	9 172 566,52	13 961,29		
TOTAL	879	87 944 527 315,30			
MÉDIA	512,29				
CV%	23,06				

* e ** indicam significância ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Nenhum dos cultivares já recomendados por ocasião dos experimentos classificou-se entre os superiores. Logo, os sete genótipos com rendimentos superiores mostraram-se candidatos a

recomendação e, muito possivelmente, aqueles que forem selecionados para cultivo representarão um acréscimo na produção. Em relação aos coeficientes de regressão, todos foram diferentes

de zero; logo, nenhum dos genótipos testados apresentou estabilidade absoluta, segundo FINLAY e WILKINSON (1963). Por outro lado, 12 genótipos apresentaram seus coeficientes de regressão iguais à unidade, podendo traduzir-se como de adaptação ampla. Em relação aos desvios da regressão, apenas quatro genótipos mostraram desvios significativos; logo, foram considerados, segundo EBERHART e RUSSEL (1966), genótipos imprevisíveis, ou instáveis. A análise dos três parâmetros da estabilidade, conjuntamente, indicou os genótipos CNF3975 e LM30074 com melhor desempenho, por apresentarem rendimentos superiores aliados à adaptação geral ($b_i=1$) e estabilidade ($\sigma^2d_i=0$).

Os parâmetros, coeficientes da regressão (b_i) e variância dos desvios da regressão (σ^2d_i), obtidos através das variáveis meteorológicas e dos índices de doença como estimadores do valor do ambiente, estão nas Tabelas 5, 6 e 7. Quanto aos coeficientes de regressão, foram todos de diferentes magnitudes. Os valores elevados, muitos deles classificados estatisticamente como iguais a zero, demonstraram a não regressão do modelo, não havendo, portanto, associação linear entre as variáveis ambientais e os rendimentos dos genótipos. Em relação aos desvios de regressão, todas as variâncias foram, significativamente, diferentes de zero, com todos os genótipos classificados como instáveis, exceto Turrialba 4, classificado estável pela magnitude dos desvios estimados pela variável precipitação. Consequentemente, as variáveis ambientais, na forma como utilizadas neste trabalho, não alcançaram o desempenho do índice ambiental nas estimativas das regressões lineares do modelo de EBERHART e RUSSEL (1966). Assim, a ineficiência dessa metodologia em discriminar os genótipos estáveis não permitiu maiores esclarecimentos da interação genótipo x ambiente. Os coeficientes de determinação (r^2) do rendimento com o índice ambiental e com as variáveis ambientais (Tabela 8) quantificaram os efeitos lineares de cada genótipo na variação total. Os coeficientes de determinação foram altos, quando estimados pelo índice ambiental. Porém, os coeficientes de determinação estimados para as variáveis meteorológicas e índices de doença foram baixos. Entre eles, os valores de r^2 , estimados pela variável precipitação, foram os melhores. Estes

resultados se ajustam aos estudos de BECKER e LEON (1988) que encontraram forte correlação, matemática e não biológica, negativa entre σ^2d_i e r^2 e demonstram quão pouco da variação observada pode ser explicada pela regressão linear. Logo, estes valores confirmam o fraco desempenho das variáveis ambientais, que, pela metodologia usada, motivaram a perda de precisão das estimativas dos parâmetros do modelo.

No entanto, NOR e CADY (1979) e SAEED e FRANCIS (1984) encontraram linearidade significativa para os índices ambientais físicos, compostos, matematicamente, a partir de variáveis ambientais. Provavelmente, os índices utilizados pelos autores representaram melhor a complexidade do ambiente físico do que as variáveis ambientais, quando utilizadas isoladamente.

Os resultados obtidos pela regressão escalonada (Tabela 9) quantificaram a atuação conjunta das variáveis ambientais. Os resultados indicaram a importante participação do índice ambiental na predição da estabilidade. Em contrapartida, as variáveis ambientais pouco ou nada acrescentaram à linearidade do modelo. Temperatura e disponibilidade hídrica, juntamente com as doenças, são, reconhecidamente, as variáveis ambientais mais importantes para a cultura. Os resultados inexpressivos, aqui obtidos, indicam que o ambiente físico não foi suficientemente representado. Provavelmente, os valores médios das variáveis meteorológicas não traduziram, consistentemente, as variações climáticas, em intensidade e duração. Além disso, o estudo considerou, apenas, dias depois da semeadura (DDS) como critério para o estabelecimento dos períodos críticos. Provavelmente, considerar os períodos críticos pelos estádios fenológicos, de acordo com a escala do CIAT (1986), comporia um critério de medida mais preciso e eficiente na estimação da estabilidade por variáveis meteorológicas. Os resultados inexpressivos obtidos com os índices de doença devem-se, em grande parte, aos baixos níveis de incidência registrados nos dois anos. No caso, os valores dos índices mantiveram-se quase sempre em níveis de resistência, alcançando, apenas, para crestamento bacteriano, alguns valores intermediários.

TABELA 5 - Rendimentos médios de grãos, coeficientes de regressão (b_i) e variância dos desvios da regressão (σ²d_i) estimados por índice ambiental (I_j), precipitação, umidade relativa (UR), temperatura média (TMED), de 22 genótipos de feijão testados em 10 ambientes em 1987/88 e 1988/89, RS

Genótipos	Média (kg/ha)	Coeficientes estimados por							
		I _j		precipitação		UR		TMED	
		b _i ¹	σ ² d _i	b _i ¹	σ ² d _i ⁴	b _i ³	σ ² d _i ⁴	b _i ³	σ ² d _i ⁴
A 236	1563 M	0,77 **2	8666	0,64	18974	6,53*	24305	-71,28*	25035
BAT 429	1555 I	0,86NS	8902	0,76	20511	4,35	31937	-68,14	30699
CAPIXABA P.	1585 M	0,78 *	12849	0,68	22582	7,57**	27942	-91,38**	27929
CARIOCA	1765 M	1,09NS	13639	0,87	36516	4,90	51687	-62,19	51440
CNF 3975	1873 S	1,18NS	17238	1,05	38216	9,04*	56045	-124,73**	53642
CNF 5483	1993 S	1,31 **	14616	1,09	44473	9,12**	63972	-57,47	69696
CNF 5493	1883 S	1,39 **	9326	1,20	41642	10,61*	63784	-106,52*	67043
CNF 5494	2044 S	1,28 *	14686	1,11	41961	8,59*	63065	-87,56	650160
EMPASC 201	1711 M	0,97NS	17723	0,72	37073	8,14*	42738	-67,08	46077
FT 83-120	1968 S	1,15NS	20983 *	0,95	44833	9,66*	56665	-113,62	57092
FT 84-86	1692 M	1,01NS	19686	0,81	39075	5,63	51119	-118,25**	44997
FT 84-158	1701 M	0,98NS	22114 *	0,85	37330	9,02*	46307	-99,09*	47604
FT 84-398	1556 I	1,03NS	25760 **	0,89	42991	7,69	55451	1,25*	61052
FT TARUMÃ	1599 M	0,96NS	11671	0,72	30619	8,33*	35909	-82,38*	38051
GUATELAN66	1619 M	1,02NS	15725	0,81	35442	9,16*	42597	-93,97*	44791
IRAI	1539 I	0,65 *	35112 **	0,43	44872	-1,15	49012	-10,07	49071
LM 30063	1884 S	1,22 *	10013	1,12	31539	7,64	54543	-110,43*	52114
LM 30074	1863 S	1,00NS	16533	0,87	33049	5,81	47150	-141,84**	37281
MAQUINÉ	1590 M	0,78 *	15978	0,78	22725	8,42**	29826	-102,83**	29638
RIONEGRO	1501 I	0,95NS	12333	0,99	20453	7,93*	36878	-44,99	41518
RIO TIBAGI	1611 M	0,82 *	11348	0,56	26884	5,56	31161	-74,99*	30421
TURRIALBA 4	1469 I	0,79 *	11363	2,52	17789NS	2,52	31794	-68,17	29365
MÉDIA	1708								
DMS (.05)	145								

* e ** indicam, respectivamente, significância a nível de 5 % e 1% de probabilidade.

S, M e I indicam genótipo superior, médio e inferior, respectivamente, a 5% de probabilidade (DMS).

¹ todos b_i = 0 a 1% de probabilidade

² significância para b_i = 1

³ * e ** representam significância estatística pelo T-teste a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente para Ho: b_i=0

⁴ todos σ²d_i altamente significativos pelo F-teste, menos o indicado na tabela.

TABELA 6 - Coeficientes de regressão (b_i) e variância dos desvios da regressão (σ²d_i) estimados por temperaturas mínimas (XTMIN e TMIN) e temperaturas máximas (XTMAX e TMAX) de 22 genótipos de feijão testados em 10 ambientes em 1987/88 e 1988/89, RS

Genótipos	Coeficientes estimados por							
	XTMIN		TMIN		XTMAX		TMAX	
	b _i	σ ² d _i ¹	b _i	σ ² d _i ¹	b _i	σ ² d _i ¹	b _i	σ ² d _i ¹
A 236	40,89*	25409	5,98	28132	-50,64**	21719	-33,3*	25336
BAT 429	21,43	32922	8,68	33268	-41,57*	29260	-24,46	32103
CAPIXABA P.	18,30	32791	3,62	33299	-53,62**	25943	-26,89	31414
CARIOCA	60,90*	45501	3,73	53879	-51,21*	47183	-4,46*	48345
CNF 3975	46,71	59958	-1,31	63788	-75,47**	49071	-58,66*	54441
CNF 5483	91,78**	57025	12,81	70845	-66,42*	60442	-54,73*	63707
CNF 5493	64,95*	67025	4,42	74330	-76,66**	59251	-56,15*	65878
CNF 5494	65,86*	62430	0,84	70059	-69,45**	57588	-42,26	65208
EMPASC 201	53,68*	43943	13,67	47868	-71,53**	35780	-23,07	47567
FT 83-120	55,25	60146	8,36	65090	-81,71**	48252	-65,59**	53820
FT 84-86	15,06	53725	-4,31	54010	-65,94**	42878	-63,75**	43074
FT 84-158	38,22	51442	10,21	53374	-71,68**	40724	-50,25*	47147
FT 84-398	89,58**	46929	13,15	59991	-48,43*	54986	-20,28*	59935
FT TARUMÃ	50,20*	38046	13,94	41289	-71,21**	29365	-44,30*	37146
GUATELAN6662	37,11	48131	14,50	49265	-71,57**	37309	-50,08	43735
IRAI	72,86**	39795	10,56	48454	-18,68	48235	-53,89*	41243
LM 30063	49,51	55759	-2,10	60047	-59,72*	50849	-59,71*	50380
LM 30074	21,98	49563	-6,61	50145	-65,07**	39463	-62,09**	39930
MAQUINÉ	36,15	34239	4,90	36391	-50,55**	29930	-39,90*	32211
RIONEGRO	57,42*	37036	1,11	42831	-39,09	38887	-20,49	41697
RIO TIBAGI	29,19	32592	6,64	33821	-57,54**	25528	-33,88	30971
TURRIALBA 4	27,99	31019	-9,52	31842	-16,87	31663	-32,10	29598

¹ todos σ²d_i altamente significativos pelo F-teste.

* e ** representam significativo, estatística pelo T-teste a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, para Ho: b_i=0.

TABELA 7 - Coeficientes de regressão (b_1) e variâncias dos desvios da regressão ($\sigma^2 d_1$) estimados pelos índices de ferrugem (IDF) de antracnose (IDA) e crestamento bacteriano (IDB), dos 22 genótipos de feijão testados em 10 ambientes em 1987/88 e 1988/89, RS

Genótipos	Coeficientes estimados por					
	IDF		IDA		IDB	
	b_1^2	$\sigma^2 d_1^1$	b_1^2	$\sigma^2 d_1^1$	b_1^2	$\sigma^2 d_1^1$
A 236	2,6	27442	-4,5	27496	-2,3	27882
BAT 429	3,9	31671	-6,6	31851	-1,3	33407
CAPIXABA P.	2,6	32492	0,4	33374	-2,2	32411
CARIOCA	2,8	52926	-9	50476	-3,7	51178
CNF 3975	4,4	61181	-5,9	62285	-2,4	62251
CNF 5483	4,1	69558	-11,8	65914	-5,5	65771
CNF 5493	2,0	73888	-9,9	70272	-5,2	69058
CNF 5494	5,4	66107	-11,3	64566	-3,0	68262
EMPASC 201	5,2	45328	-2,9	48642	-1,9	48276
FT 83-120	2,5	64676	-4,5	64668	-3,9	62552
FT 84-86	3,9	52016	-2,7	53818	-3,2	52169
FT 84-158	5,2	50343	-2,8	53668	-2,7	52577
FT 84-398	7,5	53508	-11,7	55168	-3,4	58807
FT TARUMÃ	2,2	41828	-2,3	42249	-3,6	39918
GUATEIAN6662	3,1	49230	-2,3	50328	-4,6	46369
IRAI	-0,8	49061	-6,8	47133	-3,3	46969
LM 30063	2,6	59134	-6,5	58246	-3,8	57209
LM 30074	2,8	49374	-2,7	50091	-1,6	49888
MAQUINÉ	1,7	36154	-0,9	36505	-2,3	35487
RIONEGRO	4,7	39918	-6,7	40944	-2,2	41915
RIO TIBAGI	2,1	35518	-4,0	33402	-3,2	32149
TURRIALBA 4	2,5	32015	-6,1	30818	-2,2	31445

¹ todos $\sigma^2 d_1$ altamente significativos pelo F-teste.

² nenhum coeficiente obteve significância estatística pelo T-teste a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, para $H_0: b_1 = 0$.

TABELA 8 - Coeficientes de determinação (r^2) da linearidade da regressão do rendimento com os estimadores do ambiente de 22 genótipos de feijão testados em 10 ambientes, em 1987/88 e 1988/89, RS

Genótipos	r^2										
	I_1	CHU	XTMIN	TMIN	XTMAX	TMAX	TMED	UR	IMF	IMA	IMB
A 236	69,4	33,1	10,4	0,8	23,4	10,6	11,7	14,3	3,2	3,0	3,8
BAT 429	73,6	39,2	2,4	1,4	13,3	4,8	9,0	5,3	6,1	5,6	1,0
CAPIXABA P.	61,5	32,4	1,8	0,2	22,3	5,9	16,3	16,3	2,7	0,0	2,9
CARIOCA	74,7	32,3	12,0	0,2	12,6	10,4	4,7	4,2	1,9	6,5	5,2
CNF 3975	73,0	40,1	6,0	0,0	23,1	14,7	15,9	12,2	4,1	2,4	1,8
CNF 5483	79,7	38,1	20,6	1,4	15,9	11,3	3,0	11,0	3,2	8,3	8,5
CNF 5493	87,5	44,1	10,0	0,2	20,4	11,5	10,0	14,3	0,8	5,6	7,2
CNF 5494	79,0	40,1	10,9	0,0	17,8	7,0	7,1	10,0	5,7	7,9	2,6
EMPASC 201	63,8	24,4	10,4	2,3	27,0	3,0	6,0	12,8	7,5	0,8	1,5
FT 83-120	68,0	31,6	8,2	0,7	26,4	17,9	12,9	13,5	1,3	1,3	4,5
FT 84-86	63,6	27,8	0,7	0,2	20,8	20,4	16,9	5,6	3,9	0,6	3,6
FT 84-158	59,1	30,9	4,8	1,2	24,6	12,7	11,9	14,3	6,8	0,6	2,7
FT 84-398	57,8	29,6	23,1	1,7	9,9	1,8	0,0	9,2	12,4	9,6	3,7
FT TARUMÃ	72,5	27,9	10,4	2,8	30,9	12,6	10,4	15,5	1,5	0,6	6,0
GUATEIAN6662	68,9	29,9	4,8	2,6	26,2	13,5	11,4	15,7	2,6	0,5	8,3
IRAI	28,5	8,7	19,0	1,4	1,8	16,1	0,1	0,3	0,2	4,1	4,4
LM 30063	83,3	47,5	7,2	0,0	15,4	16,1	13,3	9,2	1,6	3,0	4,8
LM 30074	67,2	34,4	1,7	0,5	21,7	20,8	26,1	6,5	2,1	0,6	1,0
MAQUINÉ	56,3	37,8	6,3	0,4	18,1	11,8	18,9	18,4	1,1	0,1	2,9
RIONEGRO	71,2	52,3	13,6	0,0	9,2	2,7	3,1	13,9	6,8	4,4	2,2
RIO TIBAGI	66,7	21,1	4,4	0,8	25,1	9,2	10,8	8,6	1,7	2,0	5,7
TURRIALBA 4	64,9	45,1	4,3	1,7	2,3	8,7	9,4	1,9	1,2	4,9	2,9

TABELA 9 - Coeficientes de regressão (bi), variância dos desvios (σ^2d_i) e coeficientes de determinação (r^2) das variáveis associadas à regressão escalonada até o nível de 5% de significância de 22 genótipos de feijão testados em 10 ambientes, em 1987/88 e 1988/89, RS

Genótipos	Variável Associada	σ^2d_i	bi	r^2 parcial	r^2 total
A 236	I ₁	8666	0,77**	0,69	0,69
BAT 429	I ₁	8166	0,87**	0,73	
	TMIN		-12,47*	0,03	0,76
CAPIXABA P.	I ₁	12849	0,79**	0,62	0,62
CARIOCA	I ₁	13639	1,16**	0,75	0,75
CNF 3975	I ₁	17232	1,18**	0,73	0,73
CNF 5483	I ₁	13151	1,40**	0,79	
	TMED		56,46*	0,03	0,82
CNF 5493	I ₁	9326	1,43**	0,87	0,87
CNF 5494	I ₁	14686	1,25**	0,79	0,79
EMPASC 201	I ₁	17723	0,97**	0,64	0,64
FT 83-120	I ₁	20983*	1,15**	0,68	0,68
FT 84-86	I ₁	17978	1,11**	0,64	
	XTMIN		-37,49*	0,04	0,68
FT 84-158	I ₁	19963	1,03**	0,59	
	IMA		8,04*	0,05	0,64
FT 84-398	I ₁	20896	1,18**	0,58	
	TMED		97,62*	0,09	0,67
FT TARUMÃ	I ₁	11671	0,96**	0,73	0,73
GUATEIAN6662	I ₁	13617	1,07**	0,69	
	IMA		7,72*	0,05	0,74
IRAI	I ₁	21839*	0,27**	0,29	
	UR		-14,84**	0,07	
	XTMIN		158,83**	0,13	
	TMED		-172,88	0,10	0,59
LM 30063	I ₁	10013	1,22**	0,83	0,83
LM 30074	I ₁	14224	0,90**	0,67	
	TMED		-68,73	0,05	0,72
MAQUINÉ	I ₁	15978	0,78**	0,56	0,56
RIO NEGRO	I ₁	11187	104**	0,71	
	TMAX		25,04*	0,03	0,74
RIO TIBAGI	I ₁	11348	0,82**	0,67	0,67
TURRIALBA 4	I ₁	7702	0,95**	0,65	
	XTMAX		52,63**	0,09	
	TMED		-51,02	0,03	0,77

* e ** indicam significâncias a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

CONCLUSÕES

O índice ambiental foi melhor estimador do ambiente, enquanto que a metodologia de análise, envolvendo as variáveis ambientais, não proporcionou boa discriminação entre os genótipos.

Os genótipos que se mostraram estáveis e responsivos pela metodologia convencional foram CNF3975 e LM30074.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ABOU-EL-FITTOUH, H.A.; RAWLINGS, J.O.; MILLER, P.A. Genotype by environment interactions in cotton - their nature and related environment variables. *Crop Science*, Madison, v.9, p.377-381, 1969.
- ALLARD, R.W.; BRADSHAW, A.D. Implications of genotype-environment interactions in applied plant breeding. *Crop Science*, Madison, v.4, p.503-508, 1964.
- BECKER, H.C.; LEON, J. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding*, Berlin, v.101, p.1-23, 1988.
- CARVALHO, F.I.F.; FEDERIZZI, L.C.; NODARI, R.D.; FLOSS, E.; GANDIN, L.C. Analysis of stability parameters and of genotype x environment interaction in oats grain yield in Rio Grande do Sul. (Brasil). *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto, v.5, n.3, p.517-532, 1982.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). *Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (Phaseolus vulgaris L.)*. CIAT, Cali, 1986. 34p.
- COMISSÃO ESTADUAL DE PESQUISA DE FEIJÃO. *Regimento interno*. Porto Alegre: IPAGRO, Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1987. 37p.
- COMSTOCK, R.E.; MOLL, R.H. Genotype x environment

- interactions. In: HANSON, W.D.; ROBINSON, H.F. (Eds.) **Statistical genetics of plant breeding**. Washington: NAS-NRC, 1963. p.164-166.
- DUARTE, J.B. **Estudo da adaptabilidade e estabilidade fenotípica em linhagens e cultivares de feijão mulatinho (*Phaseolus vulgaris* L.)** Goiânia: UFG, 1988. 155p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiânia.
- EBERHART, S.A.; RUSSEL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, 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**, Melbourne, v.14, p.742-754, 1963.
- FREEMAN, G.H.; PERKINS, J.M. Environmental and genotype-environmental components of variability. VIII. Relations between genotypes grown in different environments and measures of these environments. **Heredity**, Endinburgh, v.27, p.25-23, 1971.
- HARDWICK, R.C.; WOOD, J.T. Regression methods for studying genotype-environment interactions. **Heredity**, Endinburgh, v.28, p.209-222, 1972.
- INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. **Recomendações para a cultura do feijão**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1986. 46 p.
- LIN, C.S.; BINNS, M.R.; LEFKOVITCH, L.P. Stability analysis: where do we stand? **Crop Science**, Madison, v.26, p.894-900, 1986.
- MALLOWS, C.L. Some comments on Cp. **Technometrics**, Denver, v.15, p.661-675, 1973.
- McKINNEY, H.H. Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v.26, n.5, p.195-218, 1923.
- NOR, K.M.; CADY, F.B. Methodology for identify wide adaptability in crops. **Agronomy Journal**, Madison, v.71, p.556-559, 1979.
- PASTOR-CORRALES, M.A. Conceptos básicos sobre la patología del frijol. In: CIAT, **Frijol: investigación y producción**. Cali: CIAT, 1985. p.145-155.
- PERKINS, J.M. The principal component analysis of genotype-environmental interactions and physical measures of the environmental. **Heredity**, Endinburgh, v.29, p.51-70, 1972.
- SAEED, M.; FRANCIS, C.A. Association of weather variables with genotype x environment interactions in grain sorghum. **Crop Science**, Madison, v.24, p.13-16, 1984.
- STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 633p.
- WHITE, J.W.; IZQUIERDO, J. **Frijol: fisiología del potencial del rendimiento y la tolerancia al estrés**. Santiago: CIAT; FAO, 1989. 92p.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FEPAGRO/Programa Feijão e a EMBRAPA/CPTAB e às instituições participantes da COMISSÃO ESTADUAL DE PESQUISA DE FEIJÃO (CEPEF), pela cedência dos dados experimentais.