

CONTRIBUIÇÃO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS À INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE EM FEIJÃO¹

CARMEN ILSE PINHEIRO JOBIM², ELIZABETH COSTA LEMOS², MARIA ELISABET BURIN³, ENEIDA SCHUCK⁴

RESUMO - A análise da interação genótipo x ambiente foi realizada para o rendimento de grãos de 24 genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), testados em 5 locais diferentes do Rio Grande do Sul. Os parâmetros da estabilidade foram estimados pelo modelo de regressão linear de EBERHART e RUSSEL (1966). As variáveis ambientais, meteorológicas e os índices de doença, foram usados no modelo como avaliadores do ambiente, visando medir a sua eficiência em comparação ao índice ambiental. Este foi melhor estimador do ambiente, enquanto as variáveis ambientais foram pouco precisas na estimativa.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, observações meteorológicas, doenças de plantas.

CONTRIBUTION OF ENVIRONMENTAL VARIABLES TO GENOTYPE X ENVIRONMENT INTERACTION IN BEAN

ABSTRACT – An analysis of genotype x environment interaction was performed on grain yields of twenty-four genotypes of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown at five different locations in Rio Grande do Sul. The stability parameters were estimated by the linear regression model of EBERHART & RUSSEL (1966). In addition, the environmental index of the model was obtained through weather variables and disease index. The best estimator of the environment was the usual environmental index, whereas the weather variables and disease index failed to provide a good estimation.

Key words: *Phaseolus vulgaris*, weather variables, plant disease

INTRODUÇÃO

A interação genótipo x ambiente é um contínuo desafio aos melhoristas pelas complicações que causa na seleção de genótipos avaliados em diversos ambientes. Esta interação reduz a correlação entre valores fenotípicos e genotípicos e pode prejudicar 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 usado com vantagem por diversos pesquisadores, em várias espécies e deve ser o preferido quando o número de ambientes for pequeno (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992).

Segundo o método de EBERHART e RUSSEL (1966), o genótipo ideal é aquele com rendimento

médio alto, coeficiente de regressão linear igual à unidade e com os menores desvios de regressão. Neste modelo, o coeficiente de regressão estima a adaptabilidade do genótipo, ou a sua resposta à melhoria do ambiente. Os desvios da regressão medem a sua estabilidade, ou a sua resposta às flutuações ambientais. Os autores 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 testes de significância não exatos. FREEMAN e PERKINS (1971) e LIN et al. (1986) consideraram que o seu uso infringe pressuposições fundamentais de análise da regressão. Segundo estes autores, somente o uso de medidas ambientais independentes torna válido o modelo.

Avaliações independentes do ambiente podem

1. Trabalho financiado pela FAPERGS

2. Eng. Agr., M.Sc.- FEPAGRO, Rua Gonçalves Dias 570, 90130-060 Porto Alegre, RS/BRASIL.

3. Bióloga., M.Sc.- FEPAGRO, Rua Gonçalves Dias 570, 90130-060 Porto Alegre, RS/BRASIL.

4. Eng. Agr., FEPAGRO, Rua Gonçalves Dias 570, 90130-060 Porto Alegre, RS/BRASIL.

Recebido para publicação em 16/11/1999.

ser obtidas por medições de fatores físicos, como observações meteorológicas, infestação de pragas e incidência de doenças no experimento. Os estudos de ABOU-EL-FITTOUH et al. (1969), HARDWICK e WOOD (1972), PERKINS (1972) e SAEED e FRANCIS (1984) encontraram associação entre as variáveis físicas do ambiente e a interação e foram bem sucedidos na previsão da estabilidade de genótipos por regressão com variáveis físicas do ambiente. Para eles, informações sobre a contribuição dos fatores físicos à interação genótipo x ambiente são úteis para entender a natureza dessas interações e estabelecer procedimentos de seleção de genótipos mais tolerantes às variações ambientais.

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 são as condições hídrica, térmica e de sanidade a que são submetidas as plantas (COMISSÃO ESTADUAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1998). Porém, JOBIM (1990) trabalhando com as variáveis ambientais "volume de chuva" e "temperatura média" ocorrida no ciclo da cultura, "temperaturas mínimas" ocorridas nos primeiros 30 dias do ciclo, "temperaturas máximas" e "umidade relativa do ar" ocorridas entre os 60 e 90 dias do ciclo, e com os índices de doença causados por antracnose, cretamento bacteriano e ferrugem, não encontrou linearidade associada ao modelo. Concluiu que, os baixos níveis de incidência das doenças no período avaliado foram responsáveis pelos resultados inexpressivos, obtidos com os índices de doença. Por outro lado, considerou que o ambiente físico não foi bem representado pelas variáveis meteorológicas, ao adotar "dias após a semeadura" como o critério para o estabelecimento dos períodos críticos. Sugeriu a utilização da escala dos estádios fenológicos, recomendada pelo CIAT (FERNÁNDEZ e LOPEZ, 1986), para a definição dos períodos críticos.

A respeito dos períodos mais sensíveis da cultura ao estresse ambiental, ou períodos críticos, estudos recentes sobre a ecofisiologia do feijoeiro,

realizados por MASSIGNAM et al. (1998, a e b), estabelecem o período reprodutivo do feijoeiro como o mais crítico à ocorrência de temperaturas altas e deficiências hídricas.

O objetivo deste estudo foi testar a eficiência da utilização das variáveis ambientais tais como, volume de chuva, temperatura média e máxima, e consumo de água da cultura, ocorridos nos períodos críticos do feijão, estabelecidos através dos estádios fenológicos, e dos índices de doença causados por antracnose, cretamento bacteriano e ferrugem como estimadoras do valor do ambiente, na análise da estabilidade de genótipos de feijão.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de rendimento de grãos de 24 genótipos do Ensaio Estadual de produtividade de feijão para o Rio Grande do Sul (COMISSÃO ESTADUAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1987), conduzidos em 5 locais (Encruzilhada do Sul, Iraí, Maquiné, Pelotas e Veranópolis) em 1992/93 foram utilizados para este estudo. O delineamento experimental foi blocos ao acaso com 4 repetições e área útil de 3m² e a condução do experimento seguiu as recomendações técnicas para o cultivo de feijão (COMISSÃO ESTADUAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1998).

Inicialmente, foi testada a normalidade dos quadrados médios residuais obtidos na análise da variância de cada um dos 5 locais. Os dados, então, foram submetidos à análise de variância conjunta, considerando os efeitos de genótipo e locais aleatórios, conforme VENCOVSKY e BARRIGA (1992) (Tabela 1). As diferenças entre as médias dos genótipos foram testadas pelo DMS a 5% (STEEL e TORRIE, 1980). As estimativas dos parâmetros da estabilidade, média (\bar{Y}_i), coeficiente de regressão linear (b_i) e quadrado médio dos desvios da regressão ($\sigma^2 d_i$) para todos os genótipos nos locais (ambientes) foram estimados segundo EBERHART e RUSSEL (1966), cujo modelo é:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_{ij} z_j + \sigma_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad \text{onde:}$$

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

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

β_{ij} é o coeficiente de regressão do genótipo i em todo

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 (Y_j) e o rendimento médio geral dos genótipos nos ambientes (Y), ou: $I_j = Y_j - Y$

TABELA 1 - Distribuição dos graus de liberdade, quadrados médios esperados e F-teste estimados para a análise conjunta da variância, considerando os efeitos de genótipos e locais como aleatórios

FONTE DE VARIAÇÃO	GL ¹	QM	QM ESPERADOS	F-teste
REPETIÇÕES/LOCAL	$l(r-1)$	Q1	$\sigma_c^2 + g\sigma_b^2$	Q1/Q5
LOCAL	$(l-1)$	Q2	$\sigma_c^2 + g\sigma_b^2 + b\sigma_{gl}^2 + bg\sigma_l^2$	$(Q2+Q5)/(Q1+Q4)$
GENÓTIPO	$(g-1)$	Q3	$\sigma_c^2 + b\sigma_{gl}^2 + bl\sigma_g^2$	Q3/Q4
GENÓTIPO x LOCAL	$(g-1)(l-1)$	Q4	$\sigma_c^2 + b\sigma_{gl}^2$	Q4/Q5
ERRO		Q5	σ_e^2	

¹ g, l, r, representam, respectivamente, o número de genótipos, locais e repetições do experimento.

² σ_b^2 = variância de bloco dentro de locais

σ_e^2 = variância do erro

σ_g^2 = variância dos genótipos

σ_l^2 = variância dos locais

σ_{gl}^2 = variância da interação genótipo x local

As variáveis ambientais foram observações meteorológicas e avaliações de doenças. As variáveis meteorológicas foram obtidas para cada local, considerando os períodos críticos da cultura para temperaturas altas (MASSIGNAM et al., 1998, b) e as deficiências hídricas (MASSIGNAM et al., 1998, a). Para o estabelecimento dos estádios fenológicos foram seguidos os critérios do sistema padrão do CIAT (FERNÁNDEZ e LÓPEZ, 1986):

a) chuva 1, em mm, correspondendo ao volume de chuva ocorrida em V1;

b) chuva 2, em mm, correspondendo ao volume de chuva ocorrida em V2-V4;

c) chuva 3, em mm, correspondendo ao volume de chuva ocorrida em R5;

d) chuva 4, em mm, correspondendo ao volume de chuva ocorrida em R6;

e) chuva 5, em mm, correspondendo ao volume de chuva ocorrida em R7-R8;

f) temperatura 1, em °C, correspondendo à média das temperaturas máximas ocorridas em R5;

g) temperatura 2, em °C, correspondendo à média das temperaturas médias compensadas ocorridas em R5, sendo temperatura média compensada obtida por:

$$T_{mc} = \frac{\sum T_{cd}}{n} = \frac{\sum \left(\frac{T9h + 2T21h + TM + Tm}{5} \right)}{n}, \text{ onde}$$

T_{mc} = temperatura média compensada;

T_{cd} = temperatura média compensada diária;

n = número de dias do mês;

$T9h$ = temperatura do termômetro de bulbo seco das 9 horas ;

$T21h$ = temperatura do termômetro de bulbo seco das 21 horas;

TM = temperatura máxima do dia;

Tm = temperatura mínima do dia;

h) temperatura 3, em °C, correspondendo à média das temperaturas máximas ocorridas em R6;

i) temperatura 4, em °C, correspondendo à média das temperaturas médias compensadas ocorridas em R6;

j) temperatura 5, em °C, correspondendo à média das temperaturas máximas ocorridas em R7-R8;

k) temperatura 6, em °C, correspondendo à média das temperaturas médias compensadas ocorridas em R7-R8;

l) consumo 1, correspondendo ao consumo relativo de água ocorrida em V1, sendo a relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima da cultura (ET/ET_m),

conforme BERLATO (1987). Os valores da evapotranspiração máxima (ET_m) foram estimados pela radiação solar global, segundo FONTANA (1992), usando os coeficientes de cultura (K_c2) determinados para feijão (MATZENAUER, 1992). Para a estimativa da evapotranspiração real (ET) utilizou-se o método do balanço hídrico, segundo THORNTHWAITE e MATHER (1955), empregando como dados de entrada a precipitação pluvial decendial e a ET_m estimada para feijão. Foi utilizada uma capacidade de armazenamento de água disponível de 75mm;

m) consumo 2, correspondendo ao consumo relativo de água ocorrida em V2-V4;

n) consumo 3, correspondendo ao consumo relativo de água ocorrida em R5;

o) consumo 4, correspondendo ao consumo relativo de água ocorrida em R6;

p) consumo 5, correspondendo ao consumo relativo de água ocorrida em R7-R8.

As variáveis referentes à incidência de doenças foram estabelecidas a partir de leituras diretas nos 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 24 genótipos testados em cada local, 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 axonopodis* pv. *phaseoli* (Smith) Dye];

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

Foi aplicado o t-teste a 1% para testar a significância estatística de H₀: b=1. A significância estatística para a variância dos desvios da regressão ($\sigma^2 d = 0$) foi testada através de:

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

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

Foram obtidos os coeficientes de determinação (r²) 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).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos quadrados médios, obtidos das análises da variância dos experimentos em cada local (Tabela 2), mostrou que as discrepâncias entre os quadrados médios residuais são aceitáveis, sendo o maior deles apenas 3,2 vezes o menor. Neste caso, os 5 experimentos podem ser analisados conjuntamente (PIMENTEL GOMES, 1977).

TABELA 2-Quadrado médio dos resíduos (QME) das análises da variância do rendimento de grãos (kg/ha) de 24 genótipos, de 5 locais do RS, em 1992/93

LOCAL	QME
ENCRUZILHADA DO SUL	89386,52
IRAÍ	285549,41
MAQUINÉ	286803,26
PELOTAS	112981,65
VERANÓPOLIS	218460,18

relação maior/menor - 3,2

A análise da variância conjunta (Tabela 3) revelou que os efeitos isolados do genótipo e do local apresentaram variações altamente significativas. Logo, os genótipos avaliados apresentaram variabilidade de rendimento, demonstrando a possibilidade de seleção de genótipos superiores. Por outro lado, a diferença significativa encontrada

entre a interação genótipo x local evidencia a necessidade de que os genótipos sejam submetidos à avaliação em um adequado número de ambientes. Assim, os locais devem representar as possíveis variações de ambiente, que os genótipos testados encontrarão quando recomendados comercialmente.

TABELA 3 - Análise conjunta da variância do rendimento de grãos (kg/ha) de 24 genótipos de feijão testados em 5 locais em 1992/93, no RS

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F-teste
REPETIÇÃO/LOCAL	15	15444648,3	1029643,2	5,18**
LOCAL	4	115704873,2	28926218,3	28,09**
GENÓTIPO	23	18325893,8	796778,0	2,36**
LOCAL X GENÓTIPO	92	31087045,7	337902,7	1,70**
ERRO	345	68529490,2	198636,2	
TOTAL	479	249091951,2		
MÉDIA	2284,15		CV%	19,51

** indica significância ao nível de 1% de probabilidade

Segundo ALLARD e BRADSHAW (1964), a interação entre genótipos e locais é provocada por variações ambientais imprevisíveis tais como flutuações do clima, principalmente precipitação e temperatura. Estas interações dificultam o processo de seleção (COMSTOCK e MOLL, 1963) e indicam a existência de variabilidade genotípica para resposta a ambientes e, possivelmente, genótipos que menos respondam às variações ambientais. A consequência direta no melhoramento é o comprometimento da recomendação de cultivares, quando se utiliza apenas a média dos rendimentos como critério de seleção.

O desempenho médio dos genótipos testados, representado pelos parâmetros da estabilidade (média, b e $\sigma^2 d_i$), obtidos via índice ambiental, está apresentado na Tabela 4. Em relação à média dos 24 genótipos avaliados, apenas um apresentou rendimento de grãos superior à média do

experimento. Em relação aos coeficientes de regressão, todos foram iguais à unidade, do que se pode deduzir que todos os genótipos classificados são de adaptação ampla. Em relação aos desvios da regressão, sete 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 o genótipo CNF5491 com o melhor desempenho, por apresentar rendimento superior, aliado à adaptação geral ($b=1$) e à estabilidade ($\sigma^2 d_i=0$).

Os parâmetros coeficientes da regressão (b_i) e a variância dos desvios da regressão ($\sigma^2 d_i$), obtidos através das variáveis meteorológicas e dos índices de doença considerados como estimadores do valor do ambiente, estão nas Tabelas 5, 6, 7 e 8. Quanto aos coeficientes de regressão, foram todos de diferentes magnitudes. Os valores elevados,

TABELA 4 - Rendimentos médios de grãos (RMG), em kg/ha, coeficientes de regressão (b), variância dos desvios da regressão (σ^2d) e coeficientes de determinação (r^2) estimados pelo índice ambiental (Ij), de 24 genótipos de feijão testados em 5 locais do RS, em 1992/93

GENÓTIPO	RMG		b_i^1	σ^2d_i		r_i^2
CNF5491	2644	S	1,29	265743		0,6244
86-533	2538	M	1,15	202347		0,6364
CNF5488-MINUANO	2532	M	1,28	389058	**	0,5279
CNF5490-MACOTAÇO	2489	M	1,03	213062		0,5693
IAPAR31	2454	M	0,97	338354	*	0,4243
MP89-87	2394	M	0,87	163646		0,5514
86-216	2389	M	1,22	245174		0,6173
GUATEIAN6662	2385	M	1,21	230127		0,6285
CNF5494-MACANUDO	2381	M	1,05	140047		0,6793
FT206	2378	M	0,68	413895	**	0,2274
CARIOCA	2367	M	1,16	131955		0,7303
IAPAR44	2366	M	0,91	231269		0,4917
FT120	2321	M	1,43	241492		0,6940
IAPAR87-96	2257	I	0,79	184781		0,4752
NAG143	2252	I	1,08	114606		0,7328
MP89-103	2212	I	0,90	196082		0,5237
EMPASC201	2184	I	0,83	155213		0,5420
RIO TIBAGI	2162	I	0,53	327721	*	0,1874
CAPIXABA PRECOCE	2134	I	1,36	276351		0,6398
AN730-08	2090	I	0,75	284922		0,3483
CNF5493-PAMPA	2082	I	1,16	322607	*	0,5279
FT88-510	2033	I	0,69	352912	*	0,2627
MP89-242	1970	I	0,90	272198		0,4457
IRAÍ	1805	I	0,80	355239	*	0,3257

* e ** indicam respectivamente, significância ao 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 = 1 a 1% de probabilidade

muitos deles classificados estatisticamente como iguais a um, 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, quando estimados por Chuva 3 (Tabela 5), Temperatura 5 e Temperatura 6 (Tabela 6) e IDA (Tabela 8), todas as variâncias foram, significativamente, diferentes de zero, com todos os genótipos classificados como instáveis. As demais variáveis classificaram a maior parte dos

genótipos como instáveis, apenas variando aleatoriamente as classificações dos genótipos. Conseqüentemente, as variáveis ambientais, na forma como foram 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.

TABELA 5 - Coeficientes de regressão (b_i) e variância dos desvios da regressão ($\sigma^2 d_i$) estimados por chuva 1, chuva 2, chuva 3, chuva 4 e chuva 5, de 24 genótipos de feijão testados em 5 locais do RS, em 1992/93

GENÓTIPO	PARÂMETROS ESTIMADOS POR									
	Chuva 1	Chuva 2	Chuva 3	Chuva 4	Chuva 5					
	b_i	$\sigma^2 d_i$	b_i	$\sigma^2 d_i$	b_i	$\sigma^2 d_i$	b_i	$\sigma^2 d_i$	b_i	$\sigma^2 d_i$
CNF5491	3,56	696388 **	-0,11	707377 **	0,29	703128 **	-8,12	687681 **	9,34	604534 **
86-533	-3,11	548080 **	-0,85	553390 **	-0,13	555719 **	8,99	532325 **	6,86	500963 **
CNF5488-MINUANO	0,51	823830 **	1,96	807237 **	0,96	776275 **	-11,43	784812 **	4,22	803068 **
CNF5490-MACOTAÇO	-3,55	483651 **	2,24	472733 **	0,8	462082 **	2,46	492855 **	6,49	445005 **
IAPAR31	0,40	587623 **	1,63	576071 **	0,77	556941 **	-8,93	563862 **	3,33	574686 **
MP89-87	1,49	362839 *	-3,42	313479 *	-0,89	323565 *	6,31	352861 *	6,87	309100
86-216	2,42	635495 **	-1,71	627748 **	-0,28	636709 **	-0,23	640599 **	9,57	532467 **
GUATEIAN6662	7,87	565364 **	-4,39	534943 **	-1	567780 **	-4,8	612495 **	11,44 *	465021 **
CNF5494-MACANUDO	1,69	434139 **	-1,40	428035 **	-0,21	434447 **	-2,27	436614 **	7,49	370402 *
FT206	-5,30	511231 **	2,24	513778 **	0,74	507433 **	3,98	530992 **	1,44	533287 **
CARIOCA	0,76	488759 **	-0,48	488230 **	0,08	488899 **	-0,82	489054 **	7,75	418434 **
IAPAR44	14,63 **	268049	-6,03	295407 *	-1,51	337475 *	-10,86	419714 **	15,55 **	169567
FT120	7,80	736202 **	-5,12	674279 **	-1,15	721583 **	-4,89	782136 **	10,96	647494 **
IAPAR87-96	6,33	317082	-2,93	314501	-0,69	327310 *	-3,3	348822 *	9,95 *	235275
NAG143	4,35	412362 **	-4,50	340106 *	-1,14	362536 *	3,12	425972 **	9,45 *	323544 *
MP89-103	4,95	390341 **	-2,42	385904 **	-0,47	400211 **	-5,2	403589 **	6,96	354617 *
EMPASC201	6,99	296248	-1,70	326197 *	-0,23	336030 *	-10,48	305997	8,13	260845
RIO TIBAGI	0,48	403076 **	-3,89	336750 *	-1,05	346366 *	6,15	391966 **	0,95	402207 **
CAPIXABA PRECOCE	4,72	747764 **	-4,39	682761 **	-1,1	705404 **	4,53	761099 **	13,73 *	544933 **
AN730-08	7,96	381860 *	-4,20	369692 *	-1,04	381164 *	-4,52	431081 **	9,26 *	335942 *
CNF5493-PAMPA	11,23	573208 **	-8,22	386991 **	-2,17	441529 **	-0,59	683240 **	13,47 *	469135 **
FT88-510	-0,56	478355 **	0,06	478617 **	0,16	477366 **	-0,25	478613 **	3,31	465689 **
MP89-242	2,60	485208 **	-4,29	410468 **	-1,11	427527 **	5	483601 **	6,4	442771 **
IRAIÁ	-0,26	526726 **	-0,46	525860 **	0,06	526588 **	-1,47	526143 **	2,42	519853 **

* e ** indicam respectivamente, significância ao nível de 5% e 1% de probabilidade para o t-teste de $b_i=1$ * e ** indicam respectivamente, significância ao nível de 5% e 1% de probabilidade para o F-teste de $\sigma^2 d_i=0$

32 TABELA 6 - Coeficientes de regressão (b_i) e variância dos desvios da regressão ($\sigma^2 d_i$) estimados por temperatura 1, temperatura 2, temperatura 3, temperatura 4, temperatura 5, temperatura 6 e temperatura 7 e temperatura 8 de 24 genótipos de feijão testados em 5 locais do RS, em 1992/93

Genótipo	PARÂMETROS ESTIMADOS POR																				
	Temperatura 1	Temperatura 2	Temperatura 3	Temperatura 4	Temperatura 5	Temperatura 6	Temperatura 7	Temperatura 8	Temperatura 9	Temperatura 10											
	b_i	$\sigma^2 d_i$	b_i	$\sigma^2 d_i$	b_i	$\sigma^2 d_i$	b_i	$\sigma^2 d_i$	b_i	$\sigma^2 d_i$	b_i	$\sigma^2 d_i$	b_i	$\sigma^2 d_i$	b_i	$\sigma^2 d_i$	b_i	$\sigma^2 d_i$	b_i	$\sigma^2 d_i$	
CNF5491	-96	635721	** -157	601050	** -16	707321	** 62	686429	78	687068											
86-533	-144	396850	** -153	456390	** -86	533586	** -12	556164	** 15	553362	47	549254									
CNF5488-MINUANO	-44	809145	** -72	801778	** 98	794714	** 125	681260	** 131	730019	174	722439									
CNF5490-MACOTAÇO	-87	435777	** -122	430699	** -30	491933	** 54	486547	** 100	439831	129	438604									
IAPAR31	-32	579958	** -56	574536	** 74	570704	** 96	562383	** 104	529268	135	526285									
MP89-87	-135	222849	-147	272673	-110	37598	-90	342652	*	341363	-56	354167									
86-216	-134	502440	** -178	504162	** -80	620886	** -48	634239	** 4	640544	17	639652									
GUATEIAN6662	-145	455881	** -204	441341	** -105	585644	** -124	576913	** -65	596320	-71	602695									
CNF5494-MACANUDO-111	*	341153	*	349234	*	-56	427067	** -29	434371	** 7	436371	23	434922								
FT206	-47	518766	** -42	528020	** 18	534787	** 88	514503	** 88	493194	125	483513									
CARIOCA	-110	395836	** -146	398042	** -43	483571	** -2	489240	** 37	481627	59	477656									
IAPAR44	-137	310015	-246	194457	-168	368121	*	-236	** 301154	-124	371193	-173	354234								
FT120	-162	585248	** -206	607365	** -87	766033	** -110	755823	** -71	761732	-64	775578									
IAPAR87-96	-107	263963	-168	230674	-107	316970	-117	314680	-48	339280	-64	338162									
NAG143	-158	236194	-187	278824	-126	379796	*	-122	387880	** -83	391722	-79	407865								
MP8 -103	-89	350956	*	-124	345809	*	-38	407233	** -51	404563	** -21	409375	-16	410796							
EMPASC201	-65	305899	-126	270382	-27	336665	*	-52	331489	*	0	338869	-7	338693							
RIO TIBAGI	-89	341484	*	-53	391150	** -42	397843	** -50	396421	** -85	363720	-66	388862								
CAPIXABA PRECOCE-199	**	459809	**	-259	**	480465	**	-182	664862	**	-155	701405	**	75	736656	-77	747341				
AN730-08	-106	349669	*	-159	*	329018	*	-101	405660	**	-135	386763	**	-81	401086	-99	403976				
CNF5493-PAMPA	-196	**	385648	**	-251	**	414178	**	-191	570346	**	-243	*	521293	**	-180	*	507347	-203	*	545367
FT88-510	-57	453150	**	-68	458968	**	-4	478582	**	23	477120	**	33	472533	53	469065					
MP89-242	-137	*	345109	*	-141	405684	**	-99	460803	**	-95	465986	**	84	452844	-73	473238				
IRAJÁ	-60	499040	**	-58	512416	**	21	525470	**	38	522744	**	30	522033	58	515500					

1 * e ** indicam respectivamente, diferença significativa ao nível de 5% e 1% de probabilidade para o t-teste de $b_i=1$

2 todos $b_i=1$ pelo t-teste

3 * e ** indicam respectivamente, diferença significativa ao nível de 5% e 1% de probabilidade para o F-teste de $\sigma^2 d_i=0$

4 todos $\sigma^2 d_i=0$ pelo F-teste

TABELA 7 - Coeficientes de regressão (b_i) e variância dos desvios da regressão ($\sigma^2 d_i$) estimados por consumo 1, consumo 2, consumo 3, consumo 4 e consumo 5 de 24 genótipos de feijão testados em 5 locais do RS, em 1992/93

Genótipo	Consumo 1			Consumo 2			Consumo 3			Consumo 4			Consumo 5		
	b_i	$\sigma^2 d_i$	b_i	$\sigma^2 d_i$	b_i	$\sigma^2 d_i$	b_i	$\sigma^2 d_i$	b_i	$\sigma^2 d_i$	b_i	$\sigma^2 d_i$	b_i	$\sigma^2 d_i$	
CNF5491	51366	** 480404	** 7297	601499	** 1787	584091	** 2790	523829	** 3523	351903	*		** 3523	** 351903	
86-533	58565	** 261422	181	556480	** 2374	** 338959	* 2950	** 351266	* 2472	** 381462	*		** 2472	** 381462	
CNF5488-MINUANO	52557	* 586388	** 8974	* 663855	** 1918	682002	** 3519	** 532038	** 4228	** 312045	**		** 4228	** 312045	
CNF5490-MACOTAÇO	60807	** 176516	5098	442961	** 2471	** 258863	3278	** 241216	3107	** 218037	**		** 3107	** 218037	
IAPAR31	40335	* 447775	** 7075	488180	** 1473	503973	** 2691	417022	** 3244	** 286365	**		** 3244	** 286365	
MP89-87	31957	* 276895	-2074	356213	* 1169	311972	1308	324414	* 1162	326076	*		* 1162	326076	
86-216	49656	** 428453	** 3109	621378	** 1792	* 516528	** 2404	* 504352	** 2680	** 434866	**		** 2680	** 434866	
GUATEIAN6662	33344	** 523728	** 2337	608526	** 939	584341	** 1335	577344	** 2110	* 491871	**		** 2110	* 491871	
CNF5494-MACANUDO	42594	** 280532	2568	423510	** 1548	* 344122	* 2146	* 327996	* 2362	** 276837	**		* 2362	** 276837	
FT206	43594	* 372217	* 2574	522561	** 1873	* 400219	** 2616	* 374331	* 2218	* 394788	**		* 2218	* 394788	
CARIOCA	50764	** 267517	3927	458566	** 1895	* 350508	* 2668	** 321346	* 2877	** 252126	**		* 2877	** 252126	
IAPAR44	10960	444688	** 3274	433700	** -170	453900	** -403	451184	** 1019	425251	**		** 1019	425251	
FT120	38426	662255	** 1852	782476	** 1118	741049	** 1777	714797	** 2557	* 601967	**		** 2557	* 601967	
IAPAR87-96	23705	303734	2237	342127	* 654	335531	* 723	339735	* 1319	302216	*		* 1319	302216	
NAG143	34551	* 326174	* -1065	426635	** 1145	378278	* 1351	385806	** 1535	361404	*		** 1535	361404	
MP89-103	25628	355189	* 2668	397534	** 753	389764	** 1262	374123	* 1864	* 312103	*		* 1864	* 312103	
EMPASC201	21682	298420	5307	282838	518	328505	* 1024	314132	1999	** 224385	**		1999	** 224385	
RIO TIBAGI	10497	393800	** -4778	357855	* 365	398120	** 537	396477	** 274	401123	**		** 274	401123	
CAPIXABA PRECOCE	51491	* 539121	** 287	767092	** 1796	642643	** 1967	675984	** 2153	634384	**		** 2153	634384	
AN730-08	14222	419785	** 1055	434972	** 215	435391	** 243	435787	** 965	410488	**		** 965	410488	
CNF5493-PAMPA	19685	650005	** -2410	671788	** 297	679923	** 139	682889	** 868	661723	**		** 868	661723	
FT88-510	30821	396895	** 2236	468683	** 1185	424371	** 1760	495589	** 1812	* 384562	**		** 1812	* 384562	
MP89-242	27517	425947	** -2624	477402	** 942	456796	** 1140	460454	** 1106	456016	**		** 1106	456016	
IRAI	30906	444599	** 2028	518602	** 1158	474937	** 1938	438213	** 2060	* 405141	**		** 2060	* 405141	

1 * e ** indicam respectivamente, diferença significativa ao nível de 5 % e 1 % de probabilidade para o t-teste de $b_i=1$

2 * e ** indicam respectivamente, diferença significativa ao nível de 5 % e 1 % de probabilidade para o F-teste de $\sigma^2 d_i=0$

TABELA 8 - Coeficientes de regressão (b_i) e variância dos desvios da regressão ($\sigma^2 d_i$) estimados por IDA, IDB e IDF, de 24 genótipos de feijão testados em 5 locais do RS, em 1992/93

GENÓTIPO	PARÂMETROS ESTIMADOS POR								
	IDA			IDB			IDF		
	b_i ²	$\sigma^2 d_i$ ³	b_i ¹	b_i ¹	$\sigma^2 d_i$ ³	b_i ¹	$\sigma^2 d_i$ ³	b_i ¹	$\sigma^2 d_i$ ³
CNF5491	13,48	702492 **	3,35	704480 **	-46,85	625177 **			
86-533	7,25	555117 **	6,44	545624 **	-41,75	491230 **			
CNF5488-MINUANO	-25,04	807018 **	10,35	795808 **	-31,53	786816 **			
CNF5490-MACOTAÇO	19,98	483812 **	15,16	434064 **	-12,54	488770 **			
IAPAR31	-17,22	579702 **	8,30	569586 **	-22,58	568650 **			
MP89-87	7,11	363395 *	-6,19	354652 *	-65,15 *	246611			
86-216	17,39	632400 **	-0,24	640601 **	-55,07	526954 **			
GUATELAN6662	18,42	610171 **	-12,51	578123 **	-80,32 *	377636 *			
CNF5494-MACANUDO	8,16	434828 **	0,14	436631 **	-47,32	352708 *			
FT206	-7,01	534401 **	14,12	483897 **	-1,43	535661 **			
CARIOCA	9,31	486898 **	4,06	484906 **	-42,84	420480 **			
IAPAR44	57,89	363950 *	-23,15 *	313682	-85,80 **	179122			
FT120	-0,78	789286 **	-14,05	737291 **	-95,28 **	449056 **			
IAPAR87-96	33,96	320742 *	-8,61	332539 *	-52,11	250325			
NAG143	12,01	424971 **	-10,49	399869 **	-74,09 *	223198			
MP89-103	2,38	411547 **	-6,59	400257 **	-53,61	304011			
EMPASC201	16,01	331900 *	-6,28	328472 *	-46,50	257823			
RIO TIBAGI	-32,12	375240 *	-9,68	378587 *	-51,09	305471			
CAPIXABA PRECOCE	38,84	726265 **	-8,22	749470 **	-80,26 *	525841 **			
AN730-08	22,48	423451 **	-14,18	384154 *	-63,25 *	287261			
CNF5493-PAMPA	23,90	667824 **	-26,11 *	503547 **	-110,58 **	225066			
FT88-510	-4,29	478130 **	3,91	474604 **	-22,75	459235 **			
MP89-242	-4,20	490618 **	-9,80	465753 **	-66,19 *	326930 *			
IRAÍ	-21,56	514160 **	2,17	525549 **	-32,54	487114 **			

1 * e ** indicam respectivamente, diferença significativa ao nível de 5 % e 1% de probabilidade para o t-teste de $b_i=1$

2 todos $b_i=1$ pelo t-teste

3 * e ** indicam respectivamente, diferença significativa ao nível de 5 % e 1% de probabilidade para o F-teste de $\sigma^2 d_i=0$

Os coeficientes de determinação (r^2) do rendimento com o índice ambiental e com as variáveis ambientais quantificaram os efeitos lineares de cada genótipo na variação total. Os coeficientes de determinação estimados pelo índice ambiental variaram entre 0,1874 e 0,7328, demonstrando que os genótipos avaliados apresentam variabilidade para a porção da soma dos quadrados médios do rendimento explicável pelo índice ambiental. No caso dos coeficientes de determinação, estimados para as variáveis meteorológicas obtidas com chuva, temperatura e consumo de água, os valores variaram entre 0,0000 e 0,6432. Os maiores valores de r^2 coincidiram com os b classificados como diferentes de 1, demonstrando quão pouco da variação observada pode ser explicada pela regressão linear. No caso dos r^2 obtidos com os índices de doença, as variações observadas foram de 0,0000 a 0,6063, onde as menores associações foram estimadas para o índice de antracnose (IDA) e as maiores pelo índice de ferrugem (IDF). 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, temperatura e disponibilidade hídrica, juntamente com as doenças, são, reconhecidamente, as variáveis ambientais mais importantes para a cultura. Porém, NOR e CADY (1979), SAEED e FRANCIS (1984), GORMAN et al. (1989) e KANG e GORMAN (1989), estudando a utilização de medidas físicas do ambiente como estimadoras da estabilidade, encontraram relações significativas entre a análise genótipo x ambiente e os índices ambientais físicos, compostos matematicamente a partir de variáveis ambientais. Provavelmente, os métodos de análise da estabilidade utilizados pelos autores, diferentemente do método de EBERHART e RUSSEL (1966) aplicado neste estudo, sejam mais sensíveis ao uso de medidas físicas do ambiente.

CONCLUSÕES

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

O genótipo que se mostrou estável e responsivo pela método de regressão linear de EBERHART e RUSSEL (1966), usando o índice ambiental como valor do ambiente, foi CNF5491.

PESO. AGROP. GAÚCHA, v.6, n.1, p.27-38, 2000

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-environmental interactions in applied plant breeding. *Crop Science*, Madison, v.4, p.503-508, 1964.
- BERLATO, M.A. **Modelo de relação entre o rendimento de grãos da soja e o déficit hídrico para o Estado do Rio Grande do Sul**. São José dos Campos: INPE, 1987. 93p. Tese (Doutorado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1987.
- COMISSÃO ESTADUAL DE PESQUISA DE FEIJÃO. **Regimento interno**. Porto Alegre: IPAGRO, Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1987. 37p.
- COMISSÃO ESTADUAL DE PESQUISA DE FEIJÃO. **Feijão. Recomendações técnicas para cultivo no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAGRO/EMBRAPA-CPACT, 1998. 80p.
- 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).
- EBERHART, S.A.; RUSSEL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, Madison, v.6, p.36-40, 1966.
- FERNÁNDEZ, F; LÓPEZ, P. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Cali: CIAT, 1986.34p.
- 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.
- FONTANA, D.C. Determinação da evapotranspiração. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1992. p.48-62.
- 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.
- GORMAN, D.P.; KANG, M.S.; MILAM, M.R. Contribution of wheather variables to genotype x environment interaction in grain sorghum. **Plant Breeding**, Berlin, v.103, p.299-303, 1989
- HARDWICK, R.C.; WOOD, J.T. Regression methods for studying genotype-environment interactions. **Heredity**, Endinburgh, v.28, p.209-222, 1972.
- 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 (Mestrado em Agrometeorologia) - Faculdade de Agronomia, UFRGS.1990.
- KANG, M.S.; GORMAN, D.P. Genotype x enviroment interaction in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, p.662-664
- LIN, C.S.; BINNS, M.R.; LEFKOVITCH, L.P. Stability analysis: where do we stand? **Crop Science**, Madison, v.26, p.894-900, 1986.
- MASSIGNAM, A.M.; VIEIRA, H.J.; HEMP, S.; DITTRICH, R.C.; FLESC, R.D.; VICTORIA, F.B. Ecofisiologia do feijoeiro. I- Determinação do período mais crítico à deficiência hídrica do solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.1, p.35-39. 1998, a
- MASSIGNAM, A.M.; VIEIRA, H.J.; HEMP, S.; FLESC, R.D. Ecofisiologia do feijoeiro. II- Redução do rendimento pela ocorrência de altas temperaturas no florescimento. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.1, p.41-45. 1998, b.
- 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.
- MATZENAUER, R. Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de cultura. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.) **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1992. p.33-47.
- NOR, K.M.; CADY, F.B. Methodology for indentifying wide adaptability in crops. **Agronomy Journal**, Madison, v.71, p.556-559, 1979.
- PERKINS, J.M. The principal component analysis of genotype-enviromental interactions and physical measures of the environmental. **Heredity**, Endinburgh, v.29, p.51-70, 1972.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**.7.ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 1977. 430p.
- 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 precedures of statistics: a biometrical approach**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 633p.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water budget and its use in irrigation. In: **The yearbook of agriculture: water**. Washington D.C.: Department of Agriculture, 1955. p.346-3 58.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Componentes da variação fenotípica: análise em vários ambientes. In: _____. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. Cap.4, p.233-333.

AGRADECIMENTOS

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