

EMPREGO DE METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE FENOTÍPICA NA CULTURA DO FEJJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.)¹

Lívia Costa Borges²
Daniel Furtado Ferreira³
Ângela Fátima Barbosa Abreu⁴
Magno Antônio Patto Ramalho⁵

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar e comparar diversos métodos de análise de estabilidade fenotípica, quanto à eficiência e complementaridade, bem como estimar os parâmetros de estabilidade fenotípica da produtividade de linhagens de feijoeiro em distintos ambientes, a partir de dados experimentais do programa de melhoramento da UFLA/EPAMIG. Foram utilizados os dados (produtividade média em kg/ha) de experimentos de avaliação de 36 linhagens em 25 ambientes, do período da “seca” de 1996 ao das “águas” de 1997/98. Inicialmente, foi realizada a análise conjunta com a finalidade de testar a interação, efeito este necessário para a análise de estabilidade. Verificada a significância da interação, os modelos de Toler (19) foram ajustados para estimação dos parâmetros de estabilidade e para classificação genotípica. Adicionalmente, foi aplicado o teste de Scott e Knott (18), para comparar o desempenho médio genotípico, bem como foram empregadas as metodologias de Lin e Binns (14, 15), Annicchiarico (2) e Annicchiarico et al. (3). Finalmente, empregou-se a análise utilizando os efeitos principais (genótipos e ambientes) como aditivos e o efeito da interação como multiplicativo, modelo AMMI (12). Concluiu-se que o método de Toler (19) é insuficiente para o estudo da estabilidade fenotípica, sendo necessária a complementaridade das informações por outras metodologias; ele fornece informações sobre o padrão de classificação genotípica, mas não

¹ Trabalho subvencionado pelo CNPq. Aceito para publicação em 15.10.1999.

² Acadêmico do 10º módulo do curso de Agronomia da UFLA. Bolsista do CNPq.

³ Departamento de Ciências Exatas da UFLA. Cx. P. 37. 37200-000 Lavras, MG. Bolsista do CNPq. E-mail danielff@ufla.br

⁴ Pesquisadora da EMBRAPA, lotada no DBI/UFLA.

⁵ Departamento de Biologia e bolsista do CNPq.

permite que inferências sejam feitas com relação à estabilidade fenotípica. Os métodos propostos por Lin e Binns (14, 15), Annicchiarico (2) e Annicchiarico *et al.* (3) forneceram informações adicionais e complementares sobre a estabilidade fenotípica e devem ser utilizados em consonância com o método de Toler (19) e Toler e Burrows (20). A análise multivariada AMMI não se mostrou eficiente para o estudo da estabilidade fenotípica no feijoeiro.

Palavras-chaves: feijoeiro, estabilidade fenotípica, interação genótipo x ambiente.

ABSTRACT

EVALUATION METHODOLOGIES OF PHENOTYPIC STABILITY IN THE COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.)

This work aimed to evaluate and compare the efficiency and complementarity of several methods of phenotypic stability analysis and estimate their stability parameters for common bean grain yield in different environments. UFLA/EPAMIG experimental breeding program data were used. Grain yield data were used (kg/ha) from 36 cultivar experiments evaluated in 25 environments, from the drought (1996) to the rain periods (1997/98). Initially, a grouped analysis was carried out to test interaction effects. Later, the models proposed by Toler (19) were used to estimate the stability parameters to classify genotypes. Additionally, the Scott and Knott (18) test was applied to compare the average genotype performance. Methodologies of Lin and Binns (14, 15) and of Annicchiarico (2) and Annicchiarico *et al.* (3) were also used. Finally, the data were analyzed using the main effects (genotypes and environments) as additives and the interaction effect as multiplicative (AMMI model) (12). The main conclusions reached were: the Toler (19) method was insufficient to study the phenotypic stability, and further information from other methodologies was needed. The Toler method (19) supplies information on the pattern of genotypic classification, but it does not allow inferences with respect to the phenotypic stability. The methods proposed by Lin and Binns (14, 15), Annicchiarico (2) and Annicchiarico *et al.* (3) supplied additional information on the phenotypic stability and should be used with the Toler (19) and Toler and Burrows (20) method. The multivariate AMMI analysis was not effective to study the phenotypic stability in the common bean.

Key words: common bean, phenotypic stability, genotype x environment interaction.

INTRODUÇÃO

Há disponíveis inúmeras metodologias de análises de estabilidade visando fornecer informações adicionais aos experimentos de avaliação de cultivares conduzidos em vários ambientes.

Na escolha da metodologia a ser empregada, alguns aspectos são fundamentais, dentre eles, as restrições impostas, a facilidade de análise e, sobretudo, de interpretação.

Nas últimas duas décadas, foram propostas algumas metodologias visando aprimorar as existentes, como é o caso da proposta de Toler (19) e Toler e Burrows (20), em que se emprega, à semelhança da de Eberhart e Russel (8), a análise de regressão, porém sendo o índice ambiental

(variável independente) um parâmetro a ser estimado. Outras metodologias foram propostas, mudando o enfoque na interpretação da estabilidade, como a de Lin e Binns (14, 15) que toma como referência o desvio em relação ao máximo obtido em cada ambiente. Outro enfoque é avaliar a estabilidade por meio da estimativa do risco associado à recomendação dos cultivares (2). Mais recentemente, os melhoristas têm dado atenção a metodologias multivariadas, como a técnica AMMI, envolvendo componentes principais e estudando a interação em um modelo multiplicativo (6, 7, 12, 21). Esta metodologia tem mostrado resultados insatisfatórios quando o componente principal não explica um percentual superior a 70% do quadrado médio relativo à interação (4).

Essas metodologias já foram utilizadas nas avaliações de estabilidade de cultivares em algumas espécies no Brasil (4, 5, 9, 13, 17). Entretanto, comparações entre os resultados fornecidos por esses métodos ainda são restritas.

Este trabalho se propõe a comparar alguns desses métodos, tendo como referência a avaliação de linhagens de feijoeiro conduzida em alguns ambientes do Estado de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram empregados métodos de análise de estabilidade, utilizando os dados experimentais dos programas de melhoramento do feijoeiro da UFLA/EPAMIG. Foram utilizados os dados (produtividade média em kg/ha) de experimentos de avaliação de 36 linhagens e, ou, cultivares avaliados (Quadro 1) em 25 ambientes (Quadro 2), do período da “seca” de 1996 ao das “águas” de 1997/98.

QUADRO 1 - Linhagens do programa de melhoramento da UFLA/EPAMIG avaliadas nos períodos da “seca” de 1996 e das “águas” de 1997/1998

1. Emgopa-201	10. RELAV 37-19	19. CI-107-2	28. H-4-5
Ouro	11. CI-257	20. CI-164-1	29. H-4-10
2. Carioca	12. CI-140-1	21. CI-128	30. CI-107-3
3. Milionário	13. CI-21	22. CI-257-2	31. H-4-9
4. Carioca MG	14. CI-107-4	23. CI-164-3	32. CI-48
5. Ouro Negro	15. ANPAT 8-12-1	24. H-4-4	33. CI-107-6
6. RELAV 37-19	16. CI-140-2	25. H-4-7	34. CI-164-2
7. ANLAV 8-28	17. CI-257-1	26. CI-107-5	35. ANPAT 8-12-2
8. MA 4-137	18. CI-107	27. H-4-22	36. CI-164-4
9. ANPAT 5-12			

QUADRO 2 - Ambientes utilizados na avaliação de linhagens do programa de melhoramento da UFLA/EPAMIG nos períodos da "seca" de 1996 e das "águas" de 1997/1998

1. Lavras – "seca" 1996.	9. Lambari – inverno 1996 (1ª quinzena de julho).	18. Sete Lagoas – "seca" 1997.
2. Patos – "seca" 1996.	10. Lambari – inverno 1996 (2ª quinzena de julho).	19. Lavras – inverno 1997 (plantio convencional).
3. Lambari – "seca" 1996.	11. Lavras – "águas" 1996/97.	20. Lavras – inverno 1997 (plantio direto).
4. Lavras – inverno 1996 (1ª quinzena de julho.)	12. Ijaci – "águas" 1996/97.	21. Patos – inverno 1997 (com molibdênio).
5. Montes Claros – inverno 1996.	13. Lambari – "águas" 1996/97.	22. Patos – inverno 1997 (sem molibdênio).
6. Patos – inverno 1996 (1ª quinzena de julho).	14. Patos – "seca" 1997.	23. Lambari – inverno 1997.
7. Lavras – inverno 1996 (2ª quinzena de julho).	15. Lavras – "seca" 1997.	24. Ijaci – "águas" 1997/98.
8. Patos – inverno 1996 (2ª quinzena de julho).	16. Ijaci – "seca" 1997.	25. Lambari – "águas" 1997/98.
	17. Lambari – "seca" 1997.	

Inicialmente foi realizada a análise conjunta, com a finalidade de avaliar a significância da interação genótipo x ambiente. Posteriormente, modelos propostos por Toler (19) foram empregados para estimação dos parâmetros de estabilidade e para classificação genotípica. Foi utilizado o "software" Toler desenvolvido por Ferreira e Zambalde (10) para implementar as análises requeridas. O método de estimação empregado foi o dos mínimos quadrados para modelos não lineares (11), utilizando o algoritmo de Gauss Newton modificado. Adicionalmente, foi aplicado o teste de Scott e Knott (18) para comparar o desempenho médio genotípico.

O modelo 1 de Toler(19), que prevê um comportamento linear para os genótipos, ante à variação ambiental, é dado por

$$Y_{ij} = \alpha_i + \beta_i \mu_j + \delta_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

em que Y_{ij} é a resposta média do i -ésimo genótipo ao j -ésimo ambiente; α_i é o desempenho médio do i -ésimo genótipo; β_i é o coeficiente que quantifica a resposta do i -ésimo genótipo ao ambiente; μ_j representa o efeito ambiental; δ_{ij} é o desvio de regressão para o i -ésimo genótipo no j -ésimo ambiente, $\bar{\epsilon}_{ij}$ é o erro experimental médio; $i=1, 2, \dots, p$ e

$j= 1, 2, \dots, q$. Esse modelo está sujeito às restrições $\sum_{i=1}^p \beta_i = p$ e $\sum_{j=1}^q \mu_j = 0$.

O modelo 2 de Toler (19), bissegmentado, está apresentado a seguir:

$$Y_{ij} = \alpha_i + [\beta_{1i}Z_j + \beta_{2i}(1 - Z_j)]\mu_j + \delta_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

em que α_i representa o intercepto de resposta do i -ésimo genótipo; β_{1i} e β_{2i} representam os coeficientes que quantificam a resposta do i -ésimo genótipo em ambientes desfavoráveis e favoráveis, respectivamente; μ_j representa o efeito ambiental; $i=1, 2, \dots, p$ e $j=1, 2, \dots, q$; $Z_j=1$ se $\mu_j \leq 0$, e $Z_j=0$ se $\mu_j > 0$. As restrições impostas a este modelo são: $\sum_{i=1}^p \beta_{1i} = \sum_{i=1}^p \beta_{2i} = p$ e $\sum_{j=1}^q \mu_j = 0$.

Ajustados os modelos 1 e 2 de Toler (19), foi aplicado o critério de classificação dos genótipos de acordo com o padrão de resposta em relação aos ambientes (Quadro 3). O significado prático desta classificação está no Quadro 4.

QUADRO 3 - Critérios de classificação genotípica de acordo com o padrão de resposta aos ambientes

Grupo	Critério de agrupamento
A	rejeitar a hipótese $\beta_1 = \beta_2$ e $\beta_1 < 1 < \beta_2$
B	aceitar a hipótese $\beta_1 = \beta_2$, rejeitar $\beta = 1$ e $\beta > 1$ (comum)
C	aceitar a hipótese $\beta_1 = \beta_2$, aceitar $\beta = 1$
D	aceitar a hipótese $\beta_1 = \beta_2$, rejeitar $\beta = 1$ e $\beta < 1$ (comum)
E	rejeitar a hipótese $\beta_1 = \beta_2$ e $\beta_1 > 1 > \beta_2$

QUADRO 4 - Significado prático da classificação genotípica de acordo com o padrão de resposta aos ambientes

Grupo	Critério de agrupamento
A	resposta convexa e duplo desejável
B	resposta linear simples e desejável só em ambientes de alta qualidade
C	resposta linear simples, não desviando da resposta média
D	resposta linear simples e desejável só em ambientes de baixa qualidade
E	resposta côncava e duplo indesejável

Visando unir o padrão de comportamento dos genótipos ante à variação aos ambientes, com a classificação quanto ao desempenho genotípico médio, foi aplicado o teste de Scott e Knott (18).

Em seguida, utilizou-se a metodologia de Lin e Binns (14, 15). A justificativa para utilizá-la é devido ao fato de a classificação de Toler representar padrões de comportamento ante à variação ambiental, mas que não representam uma medida da estabilidade fenotípica, uma vez que os desvios de regressão não são isolados para cada linhagem individualmente. Foram estimados os valores de P_i (índice de estabilidade da linhagem i), que referem-se a uma soma de quadrados do componente da interação, tomando-se como referência o desempenho máximo de todas as linhagens em cada ambiente. Essas estimativas permitiram que se testassem as hipóteses de nulidade do valor paramétrico de P_i para cada linhagem, com base em um teste F (14, 15). A significância dessa hipótese indicaria que a linhagem específica difere estatisticamente do máximo, e um P_i nulo indicaria que ela tem desempenho semelhante ao máximo ao longo dos ambientes. Essas estimativas foram decompostas em um efeito genético e um desvio atribuído à interação. Visando obter informações adicionais sobre a estabilidade das linhagens utilizadas no presente estudo, foi utilizada a metodologia proposta por Annicchiarico (2) e Annicchiarico et al.(3). Nessa metodologia, estimou-se o índice de risco para cada linhagem, considerando um coeficiente de confiança de 75%. Para isso, as médias das linhagens foram expressas em termos da porcentagem dos valores médios dos ambientes e, em seguida, estimaram-se a média e o desvio-padrão de cada linhagem em relação aos ambientes. De posse desses valores, e adotando-se a distribuição normal, estimaram-se os índices de risco para cada linhagem, usando-se os estimadores adequados (2, 3).

Finalmente, empregou-se a metodologia de análise utilizando os efeitos principais (linhagens e ambientes) como aditivos e o efeito da interação como multiplicativo, modelo AMMI (12). Buscou-se elucidar ou complementar aspectos não retratados pelas metodologias empregadas anteriormente e, ainda, avaliar a viabilidade de utilização da técnica multivariada AMMI, para estudos de estabilidade fenotípica no feijoeiro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As fontes de variação linhagens, ambientes e interação linhagens x ambientes apresentaram efeitos significativos ($P < 0,01$). A média geral foi 904,8 g/parcela (1,81 t/ha). A precisão experimental acha-se de acordo com o que é normalmente encontrado para a cultura do feijoeiro, conforme o valor do coeficiente de variação observado de 20,68% (1, 16).

De acordo com a metodologia de Toler (19), verificou-se que das 36 linhagens utilizadas neste estudo, 20 delas (55,6%) apresentaram comportamento do tipo bissegmentado (Quadro 5). Dentre elas, sete (Milionário, CI-140-1, CI-107-4, CI-107, CI-107-2, CI-107-5 e CI-107-3) apresentaram padrão de classificação denominado duplamente desejável (A) e seriam recomendadas tanto para ambientes favoráveis quanto para desfavoráveis. Contudo, todas elas, com exceção da CI-140-1 e da Milionário, estavam associadas a baixas produtividades médias. O desempenho abaixo da média da maioria das linhagens é explicado pela susceptibilidade à antracnose, o que contribuiu para redução da produtividade nos ambientes onde a doença ocorreu.

Esses resultados indicam que as linhagens com padrão ideal de classificação, de acordo com a proposta de Toler (19), estavam associados à baixa produtividade, o que, evidentemente, não é desejável. É curioso notar que quase todas as linhagens do grupo CI-107 (CI-107-4, CI-107, CI-107-2, CI-107-5 e CI-107-3) possuíram classificação A. Isso indica que esse grupo de linhagens deve possuir alelos favoráveis ao padrão ideal de classificação genotípica em relação à variação ambiental, sendo, no entanto, susceptíveis à antracnose. Nesse caso, os métodos de melhoramento devem dedicar cada vez mais esforços para associar as linhagens de melhor padrão de resposta (A) com alto desempenho produtivo, ou que pelo menos este objetivo seja uma meta constante. Linhagens com resposta média a ambientes desfavoráveis e não responsivas à melhoria ambiental (H) representaram 40% (oito) das linhagens de comportamento bissegmentado. Neste trabalho, foi observado, ainda, que a linhagem CI-107-6 do grupo CI-107, cuja resposta foi média aos ambientes desfavoráveis e altamente responsiva às melhorias das condições ambientais (padrão I), também tem padrão de resposta desejável aos ambientes. Ainda foram observadas linhagens duplamente indesejáveis (padrão E), representando 20% daqueles de classificação bissegmentada, e somente a linhagem CI-128 foi considerada de alta produtividade. É conveniente salientar que os padrões de respostas das linhagens (H e I) não são considerados por Toler (19), mas foram abordados no presente trabalho por surgirem linhagens que apresentaram esses padrões de classificações, os quais são distintos dos apresentados por esse autor.

O Quadro 5 apresenta também as linhagens cujo padrão de classificação foi considerado linear. A grande maioria dessas 16 linhagens, 75%, foi considerada de resposta média (C). Dentre elas, destacam-se Carioca, Carioca MG e Emgopa-201-Ouro, com produtividades intermediárias em relação às demais. As linhagens Ouro Negro, RELAV 3719 e CI-48 foram considerados não-responsivas e devem ser recomendados somente para ambientes de baixa tecnologia. Vale a pena

QUADRO 5 - Estimativas dos parâmetros de estabilidade e padrão de classificação das linhagens de feijão que apresentaram padrão bissegmentado e linear simples, nos experimentos de avaliação conduzidos em 25 ambientes, nos modelos de Toler (19)

Linhagens	α_i	β_{1i} (Sig Ho: $\beta_{1i} = 1$)	β_{2i} (Sig Ho: $\beta_{2i} = 1$)	Padrão de Classificação
3	757,41	0,54*	1,76**	A
9	1005,51	1,16	0,38** \oplus	H
12	860,05	0,58*	1,50*	A
14	500,22	0,44**	2,29**	A
15	1118,05	1,27	0,31** \oplus	H
18	346,72	0,19** \oplus	2,95**	A
19	462,22	0,52**	2,25**	A
20	1087,08	1,35	0,40** \oplus	H
21	1152,00	1,36*	0,29** \oplus	E
23	1043,44	1,27	0,50*	H
24	1077,36	1,51**	-0,21** \oplus	E
25	1003,58	1,31	0,22** \oplus	H
26	321,46	0,20** \oplus	2,65**	A
27	1032,82	1,34	0,08** \oplus	H
28	984,11	1,25	0,18** \oplus	H
29	1018,23	1,45*	0,28** \oplus	E
30	496,28	0,52**	2,26**	A
31	1004,31	1,37*	0,06** \oplus	E
33	666,62	0,81	2,10**	I
34	1125,89	1,21	0,42**	H

ESTIMATIVAS DE

Linhagens	α_i	β_i (Sig Ho: $\beta_i = 1$)	Padrão de classificação
1	952,27	1,03	C
2	890,58	1,07	C
4	983,66	1,09	C
5	1145,21	0,86*	D
6	902,18	0,94	C
7	972,91	0,91	C
8	911,44	0,94	C
10	960,33	0,83**	D
11	975,12	1,03	C
13	988,75	1,03	C
16	999,99	0,99	C
17	851,09	1,05	C
22	968,32	1,10	C
32	879,40	0,81**	D
35	1012,66	1,07	C
36	965,42	1,15*	B

\oplus Não diferem significativamente de zero pelo teste t a 5% de probabilidade.

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

salientar que o Ouro Negro foi a mais produtivo de todos. Essa linhagem de grãos de cor preta não apresentou doenças, o que eventualmente ocorreu nos experimentos, reduzindo a produtividade de algumas linhagens. A CI-164-4, por sua vez, apresentou padrão de classificação do tipo responsivo (B), devendo ser considerada somente para ambientes favoráveis. No entanto, apresentou baixa produtividade média, o que limita sua recomendação.

O Quadro 6 apresenta o padrão de classificação de Toler (19) para as 36 linhagens, juntamente com a classificação obtida pelo agrupamento alcançado pelo teste de Scott e Knott (18) em relação à produtividade média. Verificou-se que seis grupos de classificação da produtividade foram obtidos. Apenas o Ouro Negro alcançou a classificação máxima, sendo considerado o mais produtiva de todos. A grande maioria (66,67%) das linhagens foi enquadrada como sendo de produtividade intermediária (c e d). É possível inferir que a CI-140-1 apresentou comportamento duplamente desejável, além de ser altamente produtiva (2,0 t/ha). O Ouro Negro foi considerado altamente produtivo, porém com padrão de classificação do tipo D, ou seja, deve ser para ambientes de baixa tecnologia (desfavoráveis), uma vez que não é responsivo à melhoria nos mesmos.

QUADRO 6 - Padrão de classificação genotípica de linhagens obtidas no programa de melhoramento do feijoeiro da UFLA / EPAMIG avaliadas do período da "seca" de 1996 ao das "águas" de 1997/1998, e classificação genotípica quanto à produtividade, de acordo com o agrupamento de Scott e Knott (18)

Classificação de Scott e Knott	Padrão de classificação genotípica das linhagens							%
	A	B	C	D	E	H	I	
a	-	-	-	5	-	-	-	2,78%
b	12	-	13, 16, 35	-	21	34	-	16,67%
c	3	36	1, 4, 6, 7, 8 11, 22	10	-	15, 20, 23	-	36,11%
d	-	-	2, 17	32	24, 29, 31	9, 25, 27, 28	33	30,56%
e	14, 18, 30	-	-	-	-	-	-	8,33%
f	19, 26	-	-	-	-	-	-	5,56%
%	19,44%	2,78%	33,33%	8,33%	11,11%	22,22%	2,78%	100%

No Quadro 7 encontram-se as estimativas dos parâmetros de estabilidade das 36 linhagens, obtidas de acordo com a metodologia de Lin e Binns (14, 15). Os valores de $P(i)$ variaram de 52.818 (Ouro Negro) a 611.179 (CI-107-2). Todos os valores de $P(i)$ diferiram significativamente ($P < 0,05$) de zero, com exceção do $P(i)$ do cultivar Ouro Negro. Sendo este o de maior produtividade média, além de apresentar $P(i)$ nulo, pode-se inferir que ele é considerado um material adaptado e estável, porque apresentou variações não-significativas do valor máximo ao longo dos ambientes (estabilidade biológica). Porém, se for considerado o valor do componente do desvio devido à interação, pode-se verificar que apesar de ter sido relativamente baixo o seu valor (26.224), representou 26% do valor médio do desvio devido à interação, além do seu valor ter superado o de três outras linhagens (MA-4-137, CI-21, ANPAT-8-12-2), todos com padrão de resposta ao ambiente do tipo C, resposta média, e com produtividades variando de intermediária à alta. Dois fatos merecem ser destacados aqui: a) a metodologia de Toler (19) apresenta os padrões de comportamento das linhagens ante à variação ambiental, mas que de forma alguma representam uma medida de estabilidade; b) os valores de $P(i)$, por se referirem a dois componentes, um genético e um desvio devido à interação, são ótimos indicadores da estabilidade das linhagens, desde que o componente do desvio seja contemplado.

A respeito da metodologia de Toler (19), é importante enfatizar que se tornaria necessária uma medida da estabilidade fenotípica, como a apresentada por Eberhart e Russell (8), os quais propõem o uso do desvio de regressão, que pode ser usado para essa finalidade. No entanto, tornam-se necessários novos estudos com respeito a essa metodologia, uma vez que os desvios de regressão, ao serem estimados simultaneamente em todos os genótipos, não permitem que se infira a respeito da estabilidade específica de algum genótipo.

O que se espera de uma linhagem é alto desempenho médio ao longo de vários ambientes contrastantes, o que foi obtido pela Ouro Negro e detectado pela metodologia de Lin e Binns (14, 15). Aplicando a técnica similar a esta, apresentada por Annicchiarico (2) e Annicchiarico et al. (3), pode-se verificar que o índice de risco foi superior a 100% nas linhagens CI-164-2, ANPAT-8-12-2 e Ouro Negro (Quadro 7). O valor mais expressivo foi o do Ouro Negro, com valor de 114,8%. Esse resultado indica, com 75% de probabilidade de confiança, que ele superou a média dos ambientes em no mínimo 14,8%. A pior linhagem, com relação a este índice, foi a CI-107-3, o qual, apesar de ter sido classificado como tendo padrão de resposta ao ambiente do tipo A, pelo método de Toler (19), apresentou produtividade média nos 25 ambientes classificada no grupo "e" de Scott e Knott (18), ou seja, apresentou baixo desempenho. Além disso, essa linhagem CI-107-3 apresentou elevado valor de $P(i)$, bem como

do desvio devido à interação deste componente. Isso reforça a idéia de que, apesar de apresentar um padrão de resposta ao ambiente do tipo desejável (A) em ambientes de qualquer natureza, a linhagem em questão não

QUADRO 7 - Estimativa dos parâmetros de estabilidade das linhagens de feijão avaliadas do período da "seca" de 1996 ao das "águas" de 1997/1998, de acordo com a metodologia de Lin e Binns (14, 15), que estima o P_i e as de Annicchiarico (2) e Annicchiarico et al. (3), que estimam o índice de risco

L (i)	Médias das linhagens (kg/ha)	$P (i)^{\perp}$	Efeito genético [⊥]	Desvio da interação [⊥]	% devida à interação	Índice de risco
6	952	200,5*	252,5	45,3	45	80,19
7	973	183,7*	140,0	43,7	44	99,17
8	911	222,1*	201,9	20,2	20	92,19
9	889	281,0*	227,9	53,2	53	88,98
10	960	207,4*	151,7	55,7	56	96,16
11	975	179,4*	137,9	41,4	42	97,26
12	998	183,1*	118,2	65,0	65	94,64
13	989	146,6*	125,8	20,8	21	98,62
14	777	525,7*	377,2	148,5	149	53,23
15	975	173,2*	138,5	34,7	35	99,05
16	1000	146,0*	116,2	29,7	30	99,23
17	851	311,7*	273,9	37,9	38	83,69
18	759	596,7*	404,5	192,2	193	46,36
19	721	611,2*	465,6	145,6	146	46,87
20	944	197,3*	167,9	29,4	29	92,74
21	991	154,6*	123,7	30,9	31	99,34
22	968	175,9*	144,2	31,7	32	97,92
23	929	210,2*	183,5	26,7	27	91,22
24	819	389,2*	316,4	72,8	73	79,81
25	841	333,0*	287,4	45,6	46	83,59
26	687	723,6*	524,7	198,9	200	40,33
27	845	346,0*	281,5	64,5	65	82,62
28	823	363,5*	311,1	52,4	53	79,73
29	843	319,5*	284,1	35,4	36	80,43
30	757	544,0*	407,9	136,1	137	51,24
31	808	385,2*	332,0	53,3	54	76,55
32	879	266,2*	238,8	27,4	28	88,59
33	860	377,0*	262,7	114,3	115	65,64
34	1008	152,4*	109,6	42,8	43	100,35
35	1013	126,4*	105,9	20,5	21	101,71
36	965	180,5*	146,9	33,7	34	91,84

* Significativamente diferente do máximo pelo teste F ($p < 0,05$).

[⊥] Valores divididos por 1000.

necessariamente será considerada estável. Isso pode ser em parte explicado pelo fato de as linhagens serem altamente susceptíveis à antracnose, que reduz drasticamente a produção em ambientes onde ela ocorre. Isso pode ser constatado no Quadro 7, observando que as maiores contribuições para a interação são do grupo CI-107, com relação à metodologia de Lin e Binns (14, 15), e confirmada pelas menores estimativas do índice de risco da metodologia apresentada por Annicchiarico (2) e Annicchiarico et al. (3). As metodologias utilizadas, no entanto, permitem que se tenha a visão com clareza dessas particularidades, o que não seria notado se as análises tivessem sido realizadas e apresentadas isoladamente.

No Quadro 8, estão apresentados os resultados da análise AMMI, cujos três primeiros autovalores foram responsáveis por apenas 63,9% da variação total explicada pela interação.

QUADRO 8 - Autovalores e sua porcentagem da explicação da interação no modelo AMMI referentes à análise da produtividade de grãos de 36 linhagens do programa de melhoramento do feijoeiro da UFLA/EPAMIG, avaliadas do período da “seca” de 1996 ao das “águas” de 1997/1998			
CP	Autovalores ¹	% da explicação	% acumulada da explicação
1	35927,2	43,0	43,0
2	12106,3	14,5	57,4
3	5387,3	6,4	63,9
Desvios	30162,1	36,1	100,0

¹Valores divididos por 1.000.

A análise de variância decompondo-se os efeitos da interação nos efeitos explicados pelos componentes principais (Quadro 9) permitiu verificar que os três primeiros autovalores foram significativos. No entanto, apesar da variação explicada (63,9%) ser significativa ($P < 0,01$), verificou-se que os desvios (componentes não contemplados) foram significativamente diferentes de zero ($P < 0,01$). Esse fato ressalta que três componentes principais foram insuficientes para explicar os efeitos de interação. Infelizmente, modelos com um número de componentes maior do que três são, do ponto de vista biológico, insatisfatórios para serem utilizados e de difícil manipulação, em relação aos benefícios que trariam. Esse resultado está de acordo com o apresentado por Arias et al. (5), que discutem que esta técnica, em geral, apresenta baixos valores percentuais para explicação dos componentes principais. Nenhuma análise exploratória dessa técnica foi realizada, devido às limitações apresentadas em face dos resultados obtidos.

QUADRO 9 - Resumo da análise de variância com a decomposição das somas de quadrados da interação nos três primeiros componentes principais, modelo AMMI, referente a 36 linhagens do programa de melhoramento do feijoeiro da UFLA/EPAMIG, avaliadas do período da “seca” de 1996 ao das “águas” de 1997/1998

Fonte de variação	GL	QM
Genótipos (G)	35	709179,7**
Ambientes (A)	24	11800232,7**
GxA	840	99555,9**
Componente Principal 1	58	619433,8**
Componente Principal 2	56	216183,2**
Componente Principal 3	54	99765,6**
Desvios	672	44949,7**
Resíduo	1465	35020,2

** Significativo a 5% pelo teste F.

CONCLUSÕES

a) O método de Toler (19) é insuficiente para o estudo da estabilidade fenotípica, sendo necessária a complementaridade das informações por outras metodologias.

b) Esse método fornece informações sobre o padrão de classificação genotípica, mas não permite que inferências sejam feitas com relação à estabilidade fenotípica.

c) Os métodos propostos por Lin e Binns (14, 15), Annicchiarico (2) e Annicchiarico et al. (3) forneceram informações adicionais e complementares sobre a estabilidade fenotípica e devem ser utilizados em consonância com o método de Toler (19) e Toler e Burrows (20).

d) A análise multivariada AMMI não se mostrou eficiente para o estudo da estabilidade fenotípica no feijoeiro.

REFERÊNCIAS

1. ABREU, A. de F.B.; RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B. dos & MARTINS, L.A. Progresso do melhoramento genético do feijoeiro nas décadas de setenta e oitenta nas regiões Sul e Alto Paranaíba em Minas Gerais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 29:105-12. 1994.
2. ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaption and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. Journal of Genetics and Plant Breeding 46: 269-78. 1992.
3. ANNICCHIARICO, P.; BERTOLINI, M. & MAZZINELLI, G. Analysis of genotype x environment interactions for maize hybrids in Italy. Journal of Genetics and Plant Breeding 49: 61-8. 1994.

4. ARIAS, E.R.A. Adaptabilidade e estabilidade dos cultivares de milho avaliados no Estado de Mato Grosso do Sul e avanço genético obtido no período de 1986/87 a 1993/94. Lavras, UFLA, 1996. 118p. (Tese Doutorado).
5. ARIAS, E.R.A.; RAMALHO, M.A.P. & FERREIRA, D.F. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho avaliados no Estado de Mato Grosso do Sul. *Ciência e Agrotecnologia*, 20:415-20. 1996.
6. CROSSA, J. Statistical analysis of multilocations trials. *Advances in Agronomy*, 44:55-85. 1990.
7. CROSSA, J.; GAUCH Jr., H.G. & ZOBEL, R.W. Additive main effects on multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Science*, 30:493-500. 1990.
8. EBERHART, S.A. & RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6:36-40. 1966.
9. FARIAS, F.J.C. Parâmetros de estabilidade em cultivares de algodoeiro herbáceo (*Gossypum hirsutum* L. r. *latifolium*) avaliadas na região nordeste no período de 1981 a 1992. Lavras, UFLA, 1995. 89p.(Tese de Mestrado).
10. FERREIRA, D.F. & ZAMBALDE, A.L. Simplificação de algumas técnicas especiais da experimentação agropecuária no MAPGEN e Softwares correlatos. In: I Congresso da Sociedade Brasileira de Informática Aplicada a Agropecuária e a Agroindústria, SOFTEX 2000. Anais... Belo Horizonte, 1997. p.285-91.
11. GALLANT, A.R. Nonlinear statistical models. New York, John Wiley & Sons, 1987. 610p.
12. GAUCH Jr., H.G. & ZOBEL, R.W. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. *Theoretical and Applied Genetics*, 76:1-10. 1988.
13. GONÇALVES, F.M.A. Estabilidade e adaptabilidade de cultivares de milho avaliadas em "safrinha" no período de 1993 a 1995. Lavras, UFLA, 1997. 87p. (Dissertação de Mestrado).
14. LIN, C.S. & BINNS, M.R. A method of analyzing cultivar x location x year experiment: a new stability parameter. *Theoretical and Applied Genetics*, 76:425-30. 1988.
15. LIN, C.S. & BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science*, 68:193-8. 1988.
16. MARQUES JUNIOR, O.G. Eficiência de experimentos com a cultura do feijão. Lavras, UFLA, 1997. 80p. (Tese de Doutorado).
17. RIBEIRO, P.H.E. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho em diferentes épocas de semeadura, níveis de adubação e locais do Estado de Minas Gerais. Lavras, UFLA, 1998. 126p. (Tese de Doutorado).
18. SCOTT, A. J. & KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, 30:507-12. 1974.
19. TOLER, J.E. Patterns of genotype performance over environmental arrays. Clemson, Clemson University, 1990. 154p. (Ph.D. thesis).
20. TOLER, J.E. & BURROWS, P.M. Genotype performance over environmental arrays: A non-linear grouping protocol. *Journal of Applied Statistics*, 25:131-43. 1998.
21. YAU, S.K. Regression and AMMI analysis of genotype x environmental interactions: an empirical comparison. *Agronomy Journal*, 87:121-6. 1995.