

AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE PRODUTIVA DE GENÓTIPOS DE MANDIOCA MEDIANTE USO DE ANÁLISE DE REGRESSÃO NÃO-LINEAR

Marcus Vinícius Kvitschal¹; Pedro Soares Vidigal Filho²

¹ Aluno do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento na Universidade Estadual de Maringá (UEM), Av. Colombo, nº5790, CEP: 87020-570, Maringá, Paraná, Brasil, e-mail: marcusvk78@hotmail.com; ² Professor do Departamento de Agronomia da UEM, e-mail: psvfilho@uem.br

Palavras-chave: *Manihot esculenta*; interação G x A; método de Toler e Burrows.

INTRODUÇÃO

A mandioca é uma espécie muito influenciada pelos efeitos da interação genótipos x ambientes (G x A), fato que às vezes dificulta a atuação do melhorista na etapa de seleção. Dessa forma, torna-se relevante o estudo criterioso dos efeitos da interação e da estabilidade fenotípica de novos genótipos (Kvitschal et al., 2006).

Atualmente, existem diversas metodologias estatísticas que vem sendo utilizadas como ferramenta na avaliação da estabilidade fenotípica das espécies, as quais se diferenciam nos princípios estatísticos considerados. As metodologias mais conhecidas fundamentam-se na análise de regressão linear simples (Eberhart e Russel, 1966), as quais baseiam-se na estimação de um coeficiente de regressão linear em função de um índice ambiental. Entretanto, muitos pesquisadores têm criticado o uso destas metodologias em virtude deste índice ambiental ser calculado a partir das médias dos genótipos, o que fere os princípios da análise de regressão. Por sua vez, Toler e Burrows (1998) propuseram uma metodologia baseada em regressão não linear, onde o parâmetro que reflete a qualidade ambiental é estimado por um processo iterativo de quadrados mínimos, e não calculado com base nas médias dos genótipos, tal como ocorre com a técnica de regressão linear.

O objetivo deste estudo foi avaliar a estabilidade de genótipos de mandioca na região Noroeste do Paraná mediante o emprego da metodologia de análise de regressão não-linear proposta por Toler e Burrows (1998).

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos de avaliação de genótipos de mandioca foram conduzidos em oito ambientes, sendo cinco em Maringá (1996/1997, 1997/98, 1998/99, 1999/00 e 2000/01) e três em Araruna (1998/99, 1999/00 e 2000/01), ambos os locais situados na região Noroeste do Paraná. Os genótipos avaliados foram as cultivares IAC 12, Fibra, Branca de Santa Catarina e IAC 15, e os clones IAC 55-89, IAC 153-89, IAC 184-89 e IAC 190-89. As unidades experimentais apresentaram dimensões de 4,0 x 8,0 m, com espaçamento de 1,0 m entre fileiras por 0,80 m entre plantas, com dezesseis plantas em uma área útil de 12,80 m². O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados, com quatro repetições. O plantio foi manual, e os tratos culturais realizados foram àqueles comuns à cultura. As médias de produção de raízes tuberosas foram submetidas à análise de variância, considerando efeito

fixo e aleatório para genótipos e para ambientes, respectivamente. A avaliação da estabilidade fenotípica foi realizada mediante a aplicação da metodologia proposta por Toler e Burrows (1998), que se baseia em análise de regressão não-linear, e foi desenvolvida a partir de uma união de conceitos relacionados aos modelos propostos por Digby (1979) e por Cruz et al. (1989). O modelo de Digby é um modelo uni-segmentado que considera a análise de regressão não linear, mas é incapaz de avaliar o padrão de resposta dos genótipos em ambientes favoráveis e desfavoráveis, simultaneamente. Por outro lado, a metodologia de Cruz et al. (1989) permite esta avaliação de duplo padrão de resposta dos genótipos por se tratar de uma metodologia de regressão linear bi-segmentada. Entretanto, também existe a dependência entre o índice ambiental e as médias do conjunto genotípico, tal como na análise de regressão linear simples (Eberhart e Russel, 1966). Assim, Toler e Burrows (1998) propuseram uma metodologia que envolve técnicas não-lineares na estimação dos parâmetros de um modelo bi-segmentado para a avaliação da estabilidade, onde os parâmetros de estabilidade são estimados por um processo iterativo de quadrados mínimos (Gallant, 1987), o que garante a independência do índice ambiental em relação às médias do conjunto genotípico. Esta metodologia permite a escolha do modelo que melhor explique a performance fenotípica dos genótipos, seja este uni ou bi-segmentado. Quando é rejeitada a hipótese $H(\hat{\beta}_{2i} = \hat{\beta}_{1i})$ o modelo bi-segmentado é escolhido, entretanto, quando a hipótese $H(\hat{\beta}_{2i} = \hat{\beta}_{1i})$ é aceita, o modelo se resume ao modelo uni-segmentado de Digby (1979). Assim, Toler e Burrows (1998) classificaram os genótipos em cinco grupos:

Grupo	Critério	Classificação
A	Rejeita-se $H(\hat{\beta}_{2i} = \hat{\beta}_{1i})$, sendo $\hat{\beta}_{1i} < 1 < \hat{\beta}_{2i}$;	Resposta convexa e duplamente desejável;
B	Aceita-se $H(\hat{\beta}_{2i} = \hat{\beta}_{1i})$, rejeita-se $H(\hat{\beta}_i = 1)$, mas $\hat{\beta}_i > 1$;	Resposta linear simples e desejável em ambientes de alta qualidade;
C	Aceita-se $H(\hat{\beta}_{2i} = \hat{\beta}_{1i})$, aceita-se $H(\hat{\beta}_i = 1)$	Resposta linear simples não desviando da resposta média dos ambientes;
D	Aceita-se $H(\hat{\beta}_{2i} = \hat{\beta}_{1i})$, rejeita-se $H(\hat{\beta}_i = 1)$, mas $\hat{\beta}_i < 1$;	Resposta linear simples e desejável em ambientes de baixa qualidade;
E	Rejeita-se $H(\hat{\beta}_{2i} = \hat{\beta}_{1i})$, sendo $\hat{\beta}_{1i} > 1 > \hat{\beta}_{2i}$;	Resposta côncava e duplamente indesejável.

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância utilizando-se do software Genes (Cruz, 2006). Os parâmetros $\hat{\alpha}_i$, $\hat{\beta}_{1i}$, $\hat{\beta}_{2i}$ e $\hat{\mu}_i$ foram estimados utilizando-se o software Estatística (Ferreira e Zambalde, 1997) e a significância das hipóteses foi verificada pelo teste “t” de Student.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância conjunta mostrou efeito significativo para a interação G x A, o que justifica a realização do estudo da estabilidade fenotípica para a característica em questão. No que se refere à estabilidade de produção de raízes tuberosas, pode-se observar na Tabela 1,

que apenas os genótipos IAC 15 e IAC 153-89 apresentaram estimativa de $\hat{\beta}_{2i}$ diferente de $\hat{\beta}_{1i}$, o que implica na escolha do modelo bi-segmentado.

Tabela 1. Resumo da análise de estabilidade para produção de raízes tuberosas de genótipos de mandioca conforme metodologia proposta por Toler e Burrows (1998)

Genótipos	Média (t ha ⁻¹)	Parâmetros estimados					Grupo
		$\hat{\alpha}_i$	$\hat{\beta}_{2i} - \hat{\beta}_{1i}$	$\hat{\beta}_{1i}$	$\hat{\beta}_{2i}$	$\hat{\beta}_i$	
IAC 12	21,38	21,38	-0,02 ^{ns}	-	-	0,21*	D
Fibra	26,46	26,46	1,00 ^{ns}	-	-	1,62*	B
Branca de Santa Catarina	18,89	18,89	-0,01 ^{ns}	-	-	0,49*	D
IAC 15	22,73	21,00	1,27*	0,32 [^]	1,59 ^{ns}	-	A
IAC 55-89	20,40	20,40	0,22 ^{ns}	-	-	1,21 ^{ns}	C
IAC 153-89	26,77	28,88	-1,55*	2,09 ^{^^}	0,54 ^{ns}	-	E
IAC 184-89	24,24	24,24	-0,21 ^{ns}	-	-	1,11 ^{ns}	C
IAC 190-89	25,33	25,33	-0,71 ^{ns}	-	-	1,07 ^{ns}	C

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t para $H(\hat{\beta}_{2i} = \hat{\beta}_{1i})$; [^] e ^{^^} Significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t para $H(\hat{\beta}_{1i} = 1)$; * Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t para $H(\hat{\beta}_i = 1)$; ^{ns} Não significativo.

O genótipo IAC 15 mostrou padrão de resposta fenotípica convexa, e duplamente desejável, ou seja, à medida que a qualidade ambiental aumenta, este genótipo tende a mostrar resultados cada vez mais satisfatórios. No entanto, uma vez que a mandioca é uma cultura mais rústica e que não apresenta respostas satisfatórias a elevados níveis de adubação, por exemplo, talvez este genótipo não seja mais adequado. Por sua vez, o genótipo IAC 153-89 mostrou o pior padrão de resposta fenotípica dentre todo o conjunto genotípico avaliado, uma vez que este apresentou padrão de resposta côncava e duplamente indesejável. Isso significa que à medida que a qualidade ambiental decresce, o genótipo tende a apresentar produção de raízes tuberosas cada vez mais baixas, ou seja, sob qualquer condição ambiental a que o IAC 153-89 for submetido ele deverá apresentar médias de produtividade não satisfatórias.

Quanto aos demais genótipos que foram avaliados, observou-se que todos eles tiveram a sua expressão fenotípica explicada por um modelo uni-segmentado (Digby, 1979), tendo se enquadrado nos grupos B, C e D. Ou seja, ambos mostraram padrão de resposta linear simples para a característica produção de raízes tuberosas. O genótipo Fibra foi o único que se enquadrou no grupo B e, portanto, mostrou-se adaptado aos ambientes de alta qualidade. Assim, a indicação da Fibra deveria ser preferencialmente, restrita aos agricultores detentores de melhores condições tecnológicas. No entanto, a Fibra é um genótipo conhecidamente susceptível à bacteriose (Vidigal Filho et al., 2000) e isso representa um entrave na sua indicação para cultivo no Noroeste do Paraná, uma vez que a bacteriose é uma das principais doenças incidentes nesta região. Os genótipos IAC 12 e Branca de Santa Catarina se revelaram mais adaptados aos ambientes desfavoráveis ou de baixa qualidade, não apresentando mérito algum.

Por sua vez, os genótipos IAC 55-89, IAC 184-89 e IAC 190-89 mostraram adaptação ampla ($\hat{\beta}_i = 1,0$), ou seja, estes genótipos tendem a não apresentar muita variação nas médias de produtividade de raízes tuberosas quando são submetidas tanto a ambientes de alta quanto de baixa qualidade. Isso significa que estes são os genótipos com maior previsibilidade de produção, mesmo quando comparados a cultivar Fibra. Isso é verdadeiro porque as condições climáticas de qualquer área agrícola são, de certo modo, imprevisíveis. O genótipo IAC 190-89, particularmente, pode ser considerado o mais desejável para produção de raízes tuberosas, uma vez que este apresentou previsibilidade de comportamento fenotípico (grupo C), e ao mesmo tempo superou as médias de produção dos genótipos IAC 55 e IAC 184.

CONCLUSÕES

A cultivar IAC 15 apresentou resposta fenotípica convexa e duplamente desejável, enquanto que o genótipo IAC 153-89 mostrou resposta côncava e duplamente indesejável;

O genótipo IAC 190-89 mostrou maior previsibilidade de resposta fenotípica aliada à elevada média de produção de raízes tuberosas, sendo o genótipo mais promissor;

A metodologia proposta por Toler e Burrows se mostrou eficiente na avaliação da estabilidade e da adaptabilidade de genótipos de mandioca para produção de raízes tuberosas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CRUZ, C.D. **Programa Genes: Biometria**. Editora UFV, Viçosa, 2006.
- CRUZ, C.D.; TORRES, R.A.A.; VENCOVSKY, R. An alternative to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.12, n.3, p.567-580, 1989.
- DIGBY, P.G.N. Modified joint regression analysis for incomplete variety x environment data. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.93, p.81-86, 1979.
- EBERHART, S.A.; RUSSEL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v.6, p.36-40, 1966.
- FERREIRA, D.F.; ZAMBALDE, A.L. Simplificação das análises de algumas técnicas especiais da experimentação agropecuária no Mapgen e softwares correlatos. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE INFORMÁTICA APLICADA À AGROPECUÁRIA E AGROINDÚSTRIA, 1997. **Anais...** Belo Horizonte: SBI. p.285-291.
- GALLANT, A.R. **Nonlinear statistics models**. New York: John Wiley, 1987. 610p.
- KVITSCHAL, M.V.; VIDIGAL FILHO, P.S.; SCAPIM, C.A.; GONÇALVES-VIDIGAL, M.C.; PEQUENO, M.G.; SAGRILO, E.; RIMOLDI, F. Evaluation of phenotypic stability of cassava clones by AMMI analysis in northwestern Paraná state. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.6, n.3, 236-241, 2006.
- TOLER, J.E.; BURROWS, P.M. Genotypic performance over environmental arrays: a non-linear grouping protocol. **Journal of Applied Statistics**, Abingdon, v.25, n.1, p.131-143, 1998.
- VIDIGAL FILHO, P.S.; PEQUENO, M.G.; SCAPIM, C.A.; GONÇALVES VIDIGAL, M.C.; MAIA, R.R.; SAGRILO, E.; SIMON, G.A.; LIMA, R.S. Avaliação de cultivares de mandioca na região noroeste do Paraná. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.1, p.69-75, 2000.