

COMPARAÇÃO DE ALGUNS MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA ESTABILIDADE EM PLANTAS CULTIVADAS

ANTONIO CARLOS DE OLIVEIRA¹
GILBERTO PAÉZ BOGARIN²

1. INTRODUÇÃO

O termo “estabilidade de produção” de variedades de plantas cultivadas tem sido definido sob formas diferentes. Usualmente uma variedade é considerada estável se apresenta apenas pequenas variações no seu comportamento geral, quando desenvolvida sob condições ambientais diversas.

Segundo este conceito não se considera importante a potencialidade de ambientes em proporcionar altas ou baixas produções, isto é, a variedade estável tem mais ou menos a mesma produção, quer os ambientes sejam favoráveis ou desfavoráveis. Este tipo de variedade é de grande utilidade para os pequenos agricultores, que carecem de recursos para a aplicação de níveis adequados de tecnologia e, portanto, devem adotar variedade pouco sensível às trocas ambientais.

Mais recentemente, Finlay & Wilkinson (1963) definiram “estabilidade média” de uma forma dinâmica, para caracterizar uma variedade cuja produção varia de acordo com a capacidade dos ambientes em proporcionar altas ou baixas produtividades.

Este tipo de variedade é sensível às trocas ambientais, respondendo bem às variações das condições de ambiente, sendo portanto, útil aos grandes agricultores, que aplicam altos níveis de tecnologia.

O conceito de estabilidade de produção é de grande importância para o melhorista de plantas visto que é de seu interesse a obtenção de variedades que se comportam bem não somente em um ambiente particular, mas também sob diferentes condições de ambiente.

Diversos métodos têm sido propostos para a determinação da estabilidade. A diferença entre os métodos sugeridos na literatura se originam dos diferentes conceitos de estabilidade adotados e dos diferentes procedimentos estatísticos empregados para a determinação da estabilidade. Os objetivos do presente trabalho são:

¹ Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (EMBRAPA), Sete Lagoas, MG, Brasil.

² Instituto Interamericano para a Cooperação em Agricultura (IICA), San Jose, Costa Rica.

- a. observar o comportamento de cinco métodos de estimação da estabilidade aplicados a dados de produção de grãos em variedades de milho (*Zea mays* L.); e
- b. comparar os métodos a serem estudados aplicando critérios estatísticos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Os métodos que visam a determinar estatisticamente a estabilidade se fundamentam nas possíveis interações que ocorrem entre genótipo e ambiente. Alguns melhoristas enfatizam o efeito camuflado de tais interações sobre os valores dos genótipos. Eles se empenham em estimar as magnitudes das variâncias atribuíveis às interações e utilizam tais estimativas no desenvolvimento de métodos de seleção mais precisos. Eberhart & Russel (1966) mencionam que as interações estão normalmente presentes para qualquer material genético com o qual o melhorista possa estar trabalhando. Elas dificultam sensivelmente a demonstração de diferenças significativas entre genótipos.

Interações significativas genótipo x ambiente sugerem que um programa de melhoramento poderia ser orientado para o desenvolvimento de variedades particularmente adaptadas a ambientes especiais. Entretanto, o aspecto negativo desse procedimento é o grande dispêndio de recursos humanos, material genético e financeiro que seria demandado. Extensas áreas teriam que ser subdivididas para o desenvolvimento de um programa de melhoramento dentro de cada subdivisão. Eberhart & Russel (1966) discutem este aspecto. Estratificações de ambientes são feitas de maneira a reduzir o efeito das interações genótipo x ambiente. Estas estratificações geralmente são baseadas nas diferenças macroambientais, como gradiente de temperatura, distribuição de chuvas e tipo de solo. Contudo, algumas vezes, com este refinamento da técnica, a interação de genótipos com locais dentro de uma sub-região e com ambientes no mesmo local em diferentes anos, frequentemente permanece também grande.

O método sugerido pela maioria dos pesquisadores como o mais racional é a introdução de variedades, que mostrem um alto grau de estabilidade de *performance* em uma classe convenientemente ampla de ambientes. Assim, avaliações preliminares poderiam ser planejadas para a identificação de genótipos que intergissem menos com os ambientes nos quais eles estivessem sendo desenvolvidos. Com esse objetivo vários pesquisadores descreveram métodos baseados em princípios estatísticos que estimam parâmetros e os usam na avaliação da estabilidade de variedades.

Método tradicional (Yates e Cochran)

O método mais antigo usado para se avaliar estabilidade consiste em uma

análise de variância conjunta de uma série de experimentos desenvolvidos em vários locais e em vários anos. Designando-se as combinações de locais e anos por ambientes, a variação de ambientes dentro de cada variedade é uma medida da estabilidade de variedade. A variedade que apresentar a menor variação, estimada pelo quadrado médio de ambientes dentro de variedades, é considerada a mais estável.

Método de Plaisted e Peterson

Plaisted & Peterson (1959) apresentaram um método para caracterizar a estabilidade da *performance* de produção. No caso da análise de resultados de um ano, que eles consideram, o primeiro passo é uma análise de variância do conjunto de todas as variedades em todos os locais. Se a interação variedades x locais é significativa, efetua-se a análise de variância do conjunto de todos os anos para cada combinação de variedades tomadas duas a duas. Para m variedades serão necessárias $m(m-1)/2$ análises. Esse conjunto de análises fornece uma estimativa de σ_{vl}^2 (componente de variância da interação variedades x locais) para cada par de variedades. Calcula-se então, a média aritmética das estimativas de σ_{vl}^2 para cada variedade. A variedade que corresponde o menor valor médio é a que contribui menos para as interações variedades x locais e, assim, é considerada a mais estável no teste.

Método de Wricke

Wricke (1965) define um parâmetro de estabilidade que ele denomina de "ecoaléncia" (valência ecológica). A ecoaléncia é uma medida de avaliação das oscilações de rendimentos sob variadas condições de ambientes. A soma de quadrados da interação variedades x ambientes é dividida nas partes atribuíveis às variedades isoladas.

Método de Finlay e Wilkinson

O método de Finlay & Wilkinson (1963) para comparar a *performance* de um conjunto de variedades em vários ambientes se baseia em uma análise de regressão simples. As duas variáveis consideradas para a estimação do coeficiente de regressão são a produção média de cada ambiente (variável independente) e a produção individual média de cada variedade em cada ambiente (variável dependente).

Previamente à análise, as produções são transformadas em uma escala logarítmica que segundo Finlay & Wilkinson (1963) induzem um alto grau de linearidade na regressão. O uso de escala logarítmica também induziu, no exemplo estudado por Finlay & Wilkinson (1963), um razoável grau de homogeneidade da variância do erro.

Baseando-se no coeficiente de regressão, Finlay & Wilkinson (1963) caracterizam vários tipos de adaptação de variedades. Variedades com um baixo coeficiente de regressão mostram um alto grau de estabilidade fenotípica. Neste caso, as produções para todos os ambientes são quase as mesmas. A estabilidade absoluta é expressa por $b = 0$.

Coeficiente de regressão próximo de 1,0 indica estabilidade média. Quando isto é associado com média da produção alta, a variedade tem capacidade geral de adaptação; quando associado com média de produção baixa, a variedade é pobremente adaptada para todos os ambientes. Coeficientes de regressão acima de 1,0 indicam uma elevada sensibilidade à mudança de ambientes (baixa estabilidade), e maior especificidade na adaptação a ambientes de alta produtividade. Coeficiente de regressão abaixo de 1,0 indica uma baixa sensibilidade à troca de ambiente (alta estabilidade), e maior especificidade na adaptação a ambientes de baixa produtividade.

Método de Eberhart e Russel

Neste método avalia-se estabilidade de maneira semelhante ao método anterior. Para cada variedade os componentes que definem estabilidade (coeficiente e desvio de regressão) são obtidos pela regressão de suas produções médias nos vários ambientes sobre o índice ambiental, definido como a diferença entre a produção média do ambiente e a produção média geral. Os dados não são previamente transformados.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados foram gerados por simulação a partir de dados experimentais obtidos através do "Ensaio Nacional do Milho" nos anos agrícolas 1972/73 e 1973/74, em 13 locais da região Centro do Brasil. Assim, obteve-se um total de 26 ambientes, dos quais 13 foram abandonados para que os dados utilizados no presente estudo satisfizessem a pressuposição de homogeneidade da variância do erro.

Cada experimento do conjunto considerado foi originalmente delineado em reticulado retangular 5 x 6 com testemunha intercalar.

Tomando como base as médias ajustadas das cultivares e o desvio padrão relativo às parcelas, foram geradas dez repetições em cada ambiente, segundo uma distribuição normal, obedecendo o esquema de blocos casualizados.

Modelos de estabilidade estudados

Método tradicional

Preliminarmente, efetuou-se uma análise de variância conjunta para todos os ambientes, de acordo com o seguinte modelo, segundo Yates & Cochran (1938):

$$Y_{ijk} = \mu + v_i + a_j + b_{jk} + (va)_{ij} + \ell_{ijk},$$

onde

Y_{ijk} é a observação da repetição K da variedade i no ambiente j ,

μ é a média geral,

v_i é o efeito da variedade i ($i = 1, \dots, n$),

a_j é o efeito do ambiente j ($j = 1, \dots, n$),

b_{jk} é o efeito da repetição k para o ambiente j ($k = 1, \dots, r$),

$(va)_{ij}$ é o efeito da interação da variedade i para o ambiente j ,

ℓ_{ijk} é o efeito do erro na repetição k da variedade i no ambiente j .

Adotou-se a pressuposição de que o efeito de variedades é fixo e os demais efeitos aleatórios, onde os termos aleatórios são supostos, distribuídos normalmente e mutuamente independentes.

A variação de ambientes dentro de cada variedade foi usada como uma estimativa da estabilidade. Para tal fim a soma dos efeitos de ambientes e da interação variedades x ambientes foi decomposta em efeitos de ambientes dentro de cada variedade.

A variedade com o menor valor para o quadrado médio da decomposição foi considerada a mais estável.

Método de Plaisted e Peterson

Análises de variâncias foram computadas para todas as combinações de variedades tomadas duas a duas. Esse procedimento permitiu a obtenção de $m(m-1)/2 = 105$ estimativas do componente de variância σ_{va}^2 para cada par de variedades. As

variedades que apresentaram o menor valor para a média aritmética das estimativas dos componentes de variância foram consideradas as mais estáveis no teste de comparação.

Método de Finlay e Wilkinson

Previamente às análises, os dados foram transformados para a escala logarítmica. A seguir, efetuou-se a análise conjunta dos dados transformados sobre todos os ambientes segundo o modelo de Yates & Cochran (1938):

$$Y'_{ijk} = \mu' + v'_i + a'_j + b'_{jk} + (v'a')_{ij} + e'_{ijk},$$

onde

$Y'_{ijk} = \log Y_{ijk}$ e os efeitos são definidos como no modelo adotado no método tradicional, sendo os apóstrofos usados para indicar que as observações estão agora na escala logarítmica.

Para se estudar a estabilidade das variedades nos vários ambientes efetuou-se a decomposição do efeito da interação variedades x ambientes segundo o modelo

$$(v'a')_{ij} = \beta'_j X'_j + \delta'_{ij},$$

onde X'_j é a medida de ambiente (índice de ambiente), definida como

$$X'_j = \frac{\sum_i \bar{Y}_{ij}}{m},$$

onde \bar{Y}_{ij} é a média aritmética das observações transformadas correspondentes à i -ésima variedade no ambiente j . δ'_{ij} é o desvio da regressão.

Para a determinação da contribuição da variedade i para a interação, atribuível à regressão, adotou-se o modelo

$$\bar{Y}_{ij} = \mu'_i + \beta'_i X'_j + \delta'_{ij},$$

onde μ'_i é a média da i -ésima variedade em todos os ambientes e os demais símbolos são como definidos anteriormente.

Fazendo $Z'_j = X'_j - \bar{X}$, a estimativa b'_i do coeficiente de regressão β'_i ($i = 1, 2, \dots, m$) tem a expressão

$$b'_i = \frac{\sum_j \bar{Y}_{ij} Z'_j}{\sum_j Z_j'^2}$$

A hipótese $H_0: \beta'_i = 1, 0$ ($i = 1, \dots, m$) foi testada usando-se o teste t de Student:

$$t = \frac{b'_i - 1}{\sqrt{\text{Var}(b'_i)}}, \text{ onde } \text{Var}(b'_i) = \frac{QM_d}{\sum_j Z_j'^2}$$

Método de Wricke

O primeiro passo no método de Wricke (1965) é o mesmo que se efetua no método tradicional, isto é, a análise conjunta sobre todos os ambientes segundo Yates & Cochran (1938).

O parâmetro de estabilidade de Wricke (1965), denominado "ecoalência", foi calculado particionando-se a soma de quadrados da interação variedades x ambientes nas partes devidas às variedades isoladas. A partição foi feita usando-se a fórmula:

$$W_i = \sum_j (\bar{Y}_{ij} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y}_{...})^2,$$

onde

\bar{Y}_{ij} é a média aritmética da variedade i no ambiente j ,

$\bar{Y}_{i..}$ é a média aritmética da variedade i ,

$\bar{Y}_{.j.}$ é a média aritmética do ambiente j ,

$\bar{Y}_{...}$ é a média geral.

Assim, a expressão de W_i foi obtida somando em relação a j o quadrado do efeito da interação da variedade i no ambiente j . Pode-se escrever

$$W_i = [(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y} \dots) + (\bar{Y}_{i..} - \bar{Y} \dots) + (\bar{Y}_{.j.} - \bar{Y} \dots)]^2,$$

onde

$(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y} \dots)$ é a soma dos efeitos de interação, variedades e ambientes,

$(\bar{Y}_{i..} - \bar{Y} \dots)$ é o efeito de variedades e

$(\bar{Y}_{.j.} - \bar{Y} \dots)$ é o efeito de ambientes.

Método de Eberhart e Russel

Os parâmetros de estabilidade, coeficientes de regressão e desvios de regressão, foram estimados tendo como base o modelo $Y_{ij} = \mu_i + \beta_i X_j + \delta_{ij}$ sendo o índice de ambiente definido como:

$$X_j = \frac{\sum_i \bar{Y}_{ij}}{m} - \frac{\sum_i \sum_i \bar{Y}_{ij}}{mn}$$

O primeiro parâmetro foi estimado da maneira usual:

$$b_i = \frac{\sum_j \bar{Y}_{ij} X_j}{\sum_j X_j^2}$$

O outro parâmetro de estabilidade foi obtido da seguinte forma:

$$s^2_{d_i} = \frac{\sum_j \delta^2_{ij}}{m-2} - \frac{QM_e}{r},$$

onde QM_e é o quadrado médio do erro combinado.

Comparação entre métodos de determinação da estabilidade

Para cada método as variedades foram classificadas na ordem decrescente dos correspondentes níveis de estabilidade.

Para os métodos Tradicional de Plaisted & Peterson (1959), de Wricke (1965), de Finlay & Wilkinson (1963), que se baseiam em um único parâmetro de estabilidade, a classificação em ordens (ranks) se fundamentou nas estimativas daqueles parâmetros dentro de cada método.

No método de Eberhart & Russel (1966) que usam dois parâmetros de estabilidade, foi feita inicialmente a classificação em ordens das estimativas de cada um dos parâmetros individualmente. Em seguida obtiveram-se as médias desses resultados para a obtenção de classificação das variedades em ordens de estabilidade.

O coeficiente de concordância de Kendall, citado por Siegel (1956), foi usado para se medir o grau de concordância entre os métodos de determinação de estabilidade, tomados conjuntamente.

O coeficiente de correlação de Spearman foi usado como uma medida de concordância entre os métodos de estabilidade tomados dois a dois, sendo usado também para o estudo da correlação entre produção média de variedades e estabilidade dentro de cada método.

4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

A Tabela 1 apresenta a ordenação das variedades, quanto às ordens de estabilidade, determinadas pelos cinco métodos estudados. O coeficiente de concordância de Kendall, aplicado sobre essas ordens de estabilidade, considerando-se os seis métodos conjuntamente, apresentou um valor igual a 0,67, que permite rejeitar a hipótese de que não há concordância entre os métodos de estabilidade no nível de 1% de probabilidade.

A Tabela 2 apresenta o coeficiente de correlação de Spearman aplicado sobre as ordens de estabilidade correspondentes a cada par de métodos. Observa-se que não houve correlação significativa entre as ordens de estabilidade quando se comparou o método Tradicional *versus* o método de Plaisted & Peterson (1959), o método Tradicional *versus* o método de Wricke (1965), o método de Plaisted & Peterson (1959) *versus* o método de Finlay & Wilkinson (1963) e o método de Wricke (1965) *versus* o método de Finlay & Wilkinson (1963). Para as demais comparações houve correlações significativas ao nível de 1% de probabilidade.

Quanto à associação entre produção média de variedades e ordens de estabilidade, os resultados foram os mesmos para todos os métodos. Em nenhum deles se encontrou evidência de associação entre essas variáveis.

TABELA 1. Ordenação das variedades quanto às ordens de estabilidade determinadas pelos métodos Tradicional, de Plaisted & Peterson, de Wricke, de Finlay & Wilkinson e de Eberhart & Russel.

Variedades	Métodos				
	Tr.	P.P.	W.	F.W.	E.R.
1	11	13	13	14	12,5
2	14	11	11	12	14
3	9	8	8	6	9,5
4	4	3	2	8	2,5
5	15	15	15	15	15
6	1	9	9	3	1
7	12	10	10	13	12,5
8	3	7	6	12	4
9	2	14	14	4	8
10	8	2	3	11	7
11	13	6	5	10	11
12	10	12	12	1	9,5
13	7	5	7	7	6
14	6	4	4	5	5
15	5	1	1	9	2,5

TABELA 2. Estimativas dos coeficientes de correlação de Spearman, aplicados sobre as ordens de estabilidade para cada par de métodos.

Métodos	P.P.	W.	F.W.	E.R.
Tradicional (Tr)	0,3643	0,3714	0,9004 **	0,9004 **
Plaisted & Peterson (P.P.)		0,9857 **	0,1286	0,6603 **
Wricke (W)			0,1196	0,6741 **
Finlay & Wilkinson (F.W.)				0,6348 **
Eberhart & Russel (E.R.)				

** Indica significância no nível de 1% de probabilidade.

Dos resultados obtidos através da comparação entre os métodos, pode-se concluir que, de uma maneira geral, houve concordância entre os resultados obtidos com os diferentes métodos. Quando se comparou os pares de métodos, das 10 comparações possíveis, apenas quatro não mostraram significância para o coeficiente de correlação de Spearman.

Considerando a forma através da qual os parâmetros de estabilidade foram estimados dentro de cada método, observa-se grande semelhança entre os métodos de Plaisted & Peterson (1959) e de Wricke (1965). Ambos usam a decomposição da

interação variedades x ambientes para a derivação de tais parâmetros, apesar de utilizarem caminhos diferentes. Os métodos de Finlay & Wilkinson (1963), de Eberhart & Russel (1966), e o Tradicional partiram da decomposição da variação devida a ambientes somada com a interação variedades x ambientes para a estimação de seus parâmetros de estabilidade; entretanto, os dois primeiros métodos parecem ser mais informativos uma vez que consideram as respostas das variedades e diferentes níveis de condições ambientais.

Analisando a forma de estimação dos parâmetros de estabilidade, dentro de cada método, observa-se que os métodos de Plaisted & Peterson (1959), Wricke (1965) e o Tradicional são pouco informativos. Para estes métodos não há um caminho para se estudar o comportamento de cada genótipo em relação às condições de cada ambiente, uma vez que seus parâmetros de estabilidade apenas informam a magnitude de variação dos genótipos para as condições ambientais médias.

Assim, através dos resultados apresentados, os métodos de Finlay & Wilkinson (1963) e Eberhart & Russel (1966) parecem fornecer maiores informações. Estes métodos, por exemplo, fornecem informações a respeito do comportamento dos genótipos para cada ambiente, através do ajustamento da equação de regressão, e além de estimarem estabilidade absoluta, estimam a estabilidade média, que é a estabilidade sob uma forma dinâmica. Jowett (1972), estudando esses dois métodos, aconselha o uso do método de Finlay & Wilkinson (1963) se as variedades diferem acentuadamente com a variável que está sendo estudada, visto que o uso da escala logarítmica induz a um maior grau de homogeneidade à variância do erro experimental e maior linearidade na regressão.

Recomenda-se que em futuros estudos de estabilidade de produção de plantas, maior atenção seja dada à função que relaciona a produção de variedades com a medida de ambiente, visto que nos métodos até então sugeridos, os autores têm considerado essa relação como linear, sem levar em conta outras funções. Uma medida de ambiente, independente da produção e obtida de fatores ambientais, tais como chuva, temperatura e fertilidade do solo, também seria desejável para a formulação de uma relação matemática com a produção.

5. REFERÊNCIAS

1. ALLARD, R.W. & BRADSHAW, A.D. Implications of genotype environment interactions in applied plant breeding. *Crop Sci.*, 4: 503-4, 1964.
2. COCHRAN, W.G. & COX, G.M. *Experimental designs*. 2.ed. New York, John Wiley, 1960.

3. EBERHART, S.A. & RUSSEL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.*, 6: 36-40, 1966.
4. FINLAY, K.W. & WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.*, 14: 742-54, 1963.
5. FREEMAN, G.H. & PERKINS, J.M. Environment and genotype environmental components of variability. *Heredity*, 27: 15-23, 1971.
6. GOMES, F.P. *Curso de estatística experimental*. 5.ed. Piracicaba, Liv. Nobel, 1973.
7. JOWETT, D. Yield stability parameters for sorghum in East Africa. *Crop Sci.*, 12: 314-7, 1972.
8. KEMPTHORNE, O. *The designs and analysis of experiments*. 6.ed. New York, Krieger, 1973.
9. KENDAL, M.G. & STUART, A. *The advanced theory of statistics*. London, Griffin. 1946. v.2.
10. PLAISTED, R.L. & PETERSON, L.C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations and seasons. *Am. Potato J.*, 36: 381-5, 1959.
11. SIEGEL, S. *Nonparametric statistics for the behavioral science*. New York, McGraw-Hill, 1956.
12. STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. *Principles and procedure of statistics*. New York, McGraw-Hill, 1960.
13. WRICKE, G. Zur berechnung der okovalenz bei sommerwizen and hafer. *Z.F. Pflanzenzuchtung*, 52: 127-38, 1965.
14. YATES, F. & COCHRAN, W.G. The analysis of groups of experiments. *J. Agric. Sci.*, 28: 556-80, 1938.