

TRANSFORMAÇÃO DE DADOS E IMPLICAÇÕES DA UTILIZAÇÃO DO TESTE DE KRUSKAL-WALLIS EM PESQUISAS AGROECOLÓGICAS

ANDRÉ BIANCONI*
JOSÉ SILVIO GOVONE**
CLÁUDIO JOSE VON ZUBEN***
ANTONIO CARLOS SIMÕES PIÃO**
MARCOS APARECIDO PIZANO****
LUÍS FERNANDO ALBERTI*

Neste trabalho foram discutidos aspectos conceituais e práticos (mediante exemplo hipotético com *Lycopersicum esculentum*) que devem ser levados em consideração na utilização do teste de Kruskal-Wallis (teste estatístico não-paramétrico), enfatizando-se as complicações que podem surgir se esse procedimento estatístico for implementado de maneira arbitrária em estudos agroecológicos. Também foram abordados os equívocos que podem ser cometidos ao serem feitas afirmações muito gerais sobre as transformações de dados, mais especificamente a transformação arco seno da raiz quadrada no caso de dados referentes a proporções. A cuidadosa ponderação sobre as implicações dos resultados de testes paramétricos e não-paramétricos deve estar presente como fator essencial no delineamento experimental de pesquisas agroecológicas. O exemplo hipotético considerado indicou que os resultados desses dois tipos de teste não permitem as mesmas conclusões em situações com tamanho amostral reduzido.

PALAVRAS-CHAVE: TESTE DE DUNN; MÉTODOS NÃO-PARAMÉTRICOS; AGROECOLOGIA; TRANSFORMAÇÃO DE DADOS; ESTATÍSTICA.

* Pós-graduandos em Biologia Vegetal, Departamento de Botânica, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Rio Claro, SP, Brasil (e-mail: nuandii@hotmail.com.br; drebianconi@yahoo.com.br).

** Doutores em Estatística, professores, Departamento de Estatística, Matemática Aplicada e Computação, UNESP, Rio Claro, SP, Brasil (e-mail: jsgovone@rc.unesp.br; piao@rc.unesp.br).

*** Doutor em Ciências Biológicas, professor, Departamento de Zoologia, Instituto de Biociências, UNESP, Rio Claro, SP, Brasil (e-mail: vonzuben@rc.unesp.br).

**** Doutor em Entomologia, professor, Departamento de Ecologia, UNESP, Rio Claro, SP, Brasil (e-mail: mapizano@rc.unesp.br).

1 INTRODUÇÃO

O uso do termo agroecologia data da década de 1970 (ALTIERI, 1995). Existem indícios de que práticas agroecológicas sejam tão antigas quanto as próprias origens da agricultura, sendo as formas de agricultura tradicional presentes em algumas comunidades indígenas atuais uma prova desse fato (ALTIERI, 1995; PEDIGO, 1999). A partir do amadurecimento do conceito de ecossistema, ocorrido na década de 1950, formou-se, pela primeira vez, a estrutura básica para examinar a agricultura mediante abordagem ecológica (GLIESSMAN, 2000).

Muitos projetos sob a abordagem agroecológica têm gerado e adaptado inovações tecnológicas capazes de contribuir para a melhoria da segurança alimentar da população humana, fortalecendo a produção de subsistência, gerando fontes de renda e melhorando a base de recursos naturais. Mas não são raras as pesquisas agroecológicas em que há carências na metodologia que, de certa forma, inviabilizam a plena aplicação ou extrapolação dos resultados apresentados (EHLERS, 1999; ALTIERI, 2001; LÚCIO et al., 2003).

Para que se analise determinada área de produção agrícola como um sistema é necessário que sejam compreendidas as interações dos processos ecológicos, econômicos e sociais que nela ocorrem (PESSOA et al., 1997; ALTIERI, 2001). Para tanto o uso de modelos matemáticos e simuladores que representem a integração das variáveis envolvidas nesses processos aparecem como importante ferramenta na pesquisa agropecuária (PESSOA et al., 1997).

Em todas as áreas de pesquisa científica, testar estatisticamente hipóteses pode constituir procedimento útil para o desenvolvimento e aprimoramento do nível de conhecimento vigente. A agroecologia é uma ciência em que testar hipóteses tornou-se essencial para o avanço e fortalecimento de suas bases teóricas.

A Estatística Experimental pode ser considerada como ferramenta imprescindível para os pesquisadores das ciências agrárias, auxiliando na elucidação de princípios biológicos e na solução de problemas agrícolas (FERREIRA, 2000; STORCK et al., 2000).

Na literatura referente aos métodos alternativos de produção de alimentos, o emprego de testes de hipótese ainda não é apresentado como parte importante das pesquisas agroecológicas. Não são raras as obras relacionadas à agroecologia dedicadas integralmente aos aspectos políticos e socioeconômicos (LAMARCHE, 1998) da produção alternativa, ou que ampliam seus enfoques para questões biológicas ou ecológicas (VIVAN, 1998; ALTIERI et al., 2003), sem que a Estatística Experimental seja inserida nas discussões. Por exemplo, a generalização de que o delineamento em blocos casualizados é o mais freqüente em pesquisas agropecuárias (PIMENTEL GOMES, 1984; FERREIRA, 2000; STORCK et al., 2000) não poderia ser efetuada em relação às pesquisas agroecológicas.

Diferentemente do que ocorre em pesquisas agrônomicas convencionais, não é possível descrever as principais técnicas estatísticas utilizadas em agroecologia em relação à freqüência de testes empregados ou a propriedade na sua utilização.

Existem trabalhos em que os potenciais usos de técnicas de inteligência artificial, como as redes neurais artificiais (SCHULTZ e WIELAND, 1997; SCHULTZ et al., 2000) são discutidos, contrastando-as com técnicas estatísticas multivariadas. Contudo, tais discussões são normalmente realizadas por profissionais da área das ciências da computação e dirigidas às perspectivas de aplicação dessas ferramentas. Assim, a agroecologia vem recebendo a atenção de pesquisadores de diversas áreas para que os dados oriundos de trabalhos agroecológicos venham a ser matemática ou estatisticamente mais explorados.

Um procedimento estatístico não-paramétrico de ampla utilização em ciências biológicas e que pode ser aplicado em estudos agroecológicos é o teste de Kruskal-Wallis. Trata-se de teste simples, de fácil execução e bem descrito em livros de estatística básica (CAMPOS, 1983; SIEGEL e CASTELLAN JR., 1988; ZAR, 1999). Como esse teste pode ser aplicado em muitas situações em que

a Análise de Variância de Um Critério deveria ser empregada procurou-se, no presente trabalho, discutir os aspectos desse teste não-paramétrico com ênfase nas complicações que podem surgir se for utilizado de maneira arbitrária. Para tanto, utilizou-se exemplo hipotético com *Lycopersicum esculentum* (tomateiro) para ressaltar os cuidados que devem ser tomados ao se utilizar tal técnica em estudos agroecológicos. Outro procedimento importante a ser considerado em experimentação é a transformação de dados. Esse tópico também foi abordado mediante discussão sobre a propriedade de preconizações encontradas na literatura sobre a transformação angular de dados, enfatizando-se os dados referentes a proporções.

O teste de Kruskal-Wallis (ou Análise de Variância por Postos), diferentemente do que ocorre com a Análise de Variância de Um Critério (ou ANOVA de Fisher, teste paramétrico), não exige as suposições de normalidade da variável, nem homogeneidade de variâncias entre os tratamentos. É caracterizado como teste livre de distribuição, ou seja, a distribuição teórica populacional dos dados não precisa ser estimada pelas médias ou variâncias amostrais para sua correta aplicação. Quando se detecta diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Kruskal-Wallis, usualmente são efetuadas comparações múltiplas envolvendo todos os pares de tratamentos. O teste de Dunn pode ser aplicado para tal finalidade (ZAR, 1999), sendo verificado freqüentemente na literatura científica e bem descrito em obras de estatística. Fato interessante sobre o teste de Dunn é que, apesar de seu amplo uso, pouco se discute sobre seu poder.

2 TESTES A POSTERIORI EM EXEMPLO COM TOMATEIRO

Supondo para facilidade de visualização e interpretação que a variável de estudo seja o peso em quilogramas de frutos de *L. esculentum* perdidos (sem valor econômico) devido ao ataque por pragas em três diferentes tratamentos (Tabela 1), a saber: duas aplicações de inseticida (na mesma dosagem) no espaçamento temporal de sete dias entre elas; apenas uma aplicação de inseticida na mesma dosagem de cada aplicação do tratamento anterior; e a não-aplicação de qualquer tipo de inseticida.

Se cada tratamento tivesse cinco parcelas (repetições) com características pedológicas, edáficas e ecológicas suficientemente homogêneas em razão da área de estudo envolver pequena propriedade rural, poderia ser considerado o delineamento como sendo inteiramente ao acaso. A aplicação do teste de Kruskal-Wallis aos dados das cinco repetições de cada tratamento revelou diferenças entre tratamentos (como se poderia esperar pela simples observação dos dados), pois o valor de probabilidade obtido no teste é 0,002. Aplicando posteriormente o teste de Dunn a esses dados detecta-se que a única diferença significativa ($p < 0,05$) existente está entre os tratamentos em que houve duas aplicações de inseticida (tratamento 1) e aquele em que não foi aplicado qualquer inseticida (tratamento 3). Tais resultados poderiam sugerir que a não utilização de inseticidas produz perda semelhante à aplicação de uma única dose de inseticida (já que não há diferença significativa ao nível de 5% entre os tratamentos dois e três) e que a aplicação de uma única dose (tratamento 2) produz perda semelhante à aplicação de duas doses (tratamento 1). As conclusões do teste de Dunn contradizem a clara diferença entre as médias de cada tratamento (Tabela 1).

Considerando que a pequena propriedade rural hipotética comportasse dez parcelas por tratamento (dez repetições), sem que se alterassem as condições de homogeneidade dessas, poder-se-ia analisar conjuntamente os dados do exemplo anterior (primeiras cinco repetições de cada tratamento) com os dados das cinco últimas repetições de cada tratamento (parcela 6 a 10). Tomou-se o cuidado de não alterar as magnitudes dos dados dentro de cada parcela (Tabela 1) com a inclusão de cinco novas parcelas ao exemplo.

O teste de Kruskal-Wallis para as dez repetições também detectou diferença significativa entre os três tratamentos ($p < 0,0001$). Comparando-se os tratamentos dois a dois, o teste de Dunn

indicou que todos os pares de tratamentos apresentam diferenças significativas com todos os *p*-valores inferiores a 0,05. Assim, o simples aumento no número de repetições em cinco unidades já permite conclusões distintas das anteriores. Pode-se afirmar que os três tratamentos são distintos, como claramente indicam os dados, evidenciando baixo poder do teste de Dunn para amostras pequenas.

TABELA 1 – DADOS HIPOTÉTICOS DE PESO (Kg) DE FRUTOS NÃO-COMERCIALIZÁVEIS DE *L. esculentum*, CONSIDERANDO TRÊS TRATAMENTOS: (1) DUAS APLICAÇÕES DE INSETICIDA COM ESPAÇAMENTO DE SETE DIAS ENTRE ELAS; (2) UMA ÚNICA APLICAÇÃO DE INSETICIDA, MESMA DOSAGEM DE CADA APLICAÇÃO DO PRIMEIRO TRATAMENTO, e (3) NENHUMA APLICAÇÃO DE INSETICIDA

Parcelas (repetições-ver texto)	Tratamentos		
	1 (duas aplicações)	2 (uma aplicação)	3 (sem aplicação)
1	250	850	1900
2	270	790	2040
3	230	870	1960
4	290	800	1820
5	300	920	2000
Média 1-5*	268	846	1944
Desvio-padrão 1-5	28,64	53,20	86,49
6	250	850	1930
7	270	790	2060
8	230	870	1980
9	290	800	1840
10	300	920	1910
Média 6-10	268	846	1944
Desvio-padrão 6-10	28,64	53,20	82,04
Média 1-10	286	846	1944
Desvio-padrão 1-10	27,00	50,16	79,47

*Os números na frente das médias aritméticas e desvios-padrões indicam o intervalo de parcelas considerado para os cálculos desses.

O teste de Shapiro & Wilk (W) foi utilizado para verificar a normalidade dos dados em todos os três tratamentos. Tanto na primeira situação (em que foram consideradas apenas as cinco primeiras parcelas) quanto na segunda (considerando-se as dez parcelas), todos os tratamentos apresentaram *p*-valores não-significativos ao nível de 10% (o menor de todos os *p*-valores foi 0,15 para o tratamento 2, com dez repetições). Pode-se então concluir que a falta de normalidade por si só não justificaria a adoção de teste não-paramétrico nesse caso. Em relação à homogeneidade de variâncias, o teste de Levene (VIEIRA, 2006) indicou que os três tratamentos não apresentam homocedasticidade ($p=0,01$), considerando-se as dez parcelas conjuntamente.

Qualquer teste para se detectar normalidade ou homogeneidade de variâncias serve mais como indicação ou orientação ao pesquisador do que como fato inquestionável para se utilizar ou não algum teste paramétrico.

No caso do peso de tomates em quilogramas, variável contínua, poder-se-ia questionar se a existência de heterocedasticidade seria suficiente para se utilizar um teste estatístico que transforma os dados em postos e compara os tratamentos baseando-se na diferença da distribuição dos postos entre os tratamentos. Haverá perda considerável de informação, pois em vez de se quantificar a magnitude da diferença entre os valores pode-se apenas saber qual valor é maior do que outro.

Nas duas situações hipotéticas (com cinco e dez parcelas) a Análise de Variância paramétrica e o teste de Tukey, utilizado analogamente ao teste de Dunn, detectaram diferenças significativas entre todos os pares de comparações (todos os *p*-valores inferiores a 0,01). Dessa forma, tanto o teste de Tukey (usado após a Análise de Variância paramétrica) como o teste de Dunn (utilizado após o de Kruskal-Wallis) detectaram a evidente diferença entre os três tratamentos e as diferenças entre os pares de comparações quando analisadas as dez parcelas conjuntamente. Entretanto, os dois testes *a posteriori* não forneceram os mesmos resultados no caso em que se considerou apenas as primeiras cinco parcelas (situação com menor tamanho amostral).

Em algumas situações práticas, devido ao tamanho da área rural (ou de pesquisa) e/ou das dificuldades em se realizar a manutenção de parcelas sem o uso de agroquímicos, o pesquisador pode deparar-se com número reduzido de repetições por tratamento (como apresentado no exemplo hipotético).

VIEIRA (2003) cita que o tamanho amostral reduzido, juntamente com a falta de certeza do pesquisador sobre as questões de normalidade e homocedasticidade, são critérios que podem levar à escolha de teste não-paramétrico. O cuidado em ponderar as implicações das eficiências dos testes *a posteriori*, em cada caso (paramétrico e não-paramétrico) deve estar presente como fator de grande importância no delineamento experimental de pesquisas agroecológicas.

A escolha pelo teste não-paramétrico, no exemplo com tomateiro, ainda que não possa ser considerada incorreta, evidenciou perda de informação que não ocorreria com a utilização do teste paramétrico.

PIMENTEL GOMES (1984), referindo-se ao teste de Kruskal-Wallis, considera que a avaliação de diferenças entre tratamentos baseada apenas na ordem dos valores dos dados, sem nenhum critério quantitativo mais preciso, pode prejudicar a interpretação econômica dos resultados. Dessa forma, é de grande importância que o pesquisador avalie criteriosamente a necessidade de utilização de teste não-paramétrico em situação semelhante ao exemplo citado.

3 TRANSFORMAÇÃO DE DADOS: O ARCO SENSO DA RAIZ QUADRADA

Para tentar resolver o problema da falta de normalidade dos dados e/ou da heterocedasticidade é muito comum serem encontrados dados transformados na literatura de diversas áreas de pesquisa. As transformações raiz quadrada, arco seno da raiz quadrada ou logarítmica dos dados originais são as soluções possíveis mais empregadas (HOAGLIN et al., 1983; ZAR, 1999).

Muito se discute sobre os casos em que determinado tipo de transformação funciona com maior ou menor propriedade quando se trata de problemas referentes à ausência de normalidade ou homogeneidade de variâncias. Contudo, o fato que normalmente não fica tão relevante em textos básicos é o de que as transformações acima citadas apenas podem corrigir os problemas de falta de normalidade e/ou ausência de homogeneidade de variâncias. Se tais problemas não existirem, não haverá razão aparente para executá-las.

A proporção (ou porcentagem) de sementes germinadas num experimento constitui variável freqüente e de muita importância em pesquisas agrícolas, incluindo as de enfoque agroecológico. A transformação para o arco seno da raiz quadrada das proporções costuma ser indicada como solução possível e eficiente, quando os dados dessa variável compõem tratamentos que não apresentam homocedasticidade (VIEIRA, 2006).

LABOURIAU (1983), em relevante obra sobre germinação de sementes, atesta que com proporções não é possível efetuar Análise de Variância ou teste t de *Student* (testes paramétricos). Caso as proporções estejam entre 0,05 e 0,95 pode-se usar aproximação angular e depois aplicar procedimento paramétrico. Segundo esse mesmo autor, tal característica precisa ser constantemente lembrada, ou seja, proporções necessariamente deverão ser transformadas. Contudo, no caso em que as proporções constituem amostras normais ou sem heterogeneidade de variâncias deve-se questionar a lógica da transformação. Os dados, ao serem transformados para o arco seno da raiz quadrada, em vez de serem proporções passam a representar valores de ângulos (usualmente em radianos).

Após a transformação não é possível referir-se à média da proporção de germinação em determinado tratamento, mas sim à média (em radianos ou graus) dos arcos senos das raízes quadradas das proporções em determinado tratamento. Tal dado, em geral, é menos informativo ao pesquisador do que a média das proporções originais, ou seja, afirmar-se que dados de porcentagem ou proporção devem necessariamente ser transformados pode ser considerado muito generalista.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As discussões e exemplos apresentados neste trabalho versaram sobre questões elementares referentes à aplicação do teste de Kruskal-Wallis e à transformação angular de dados, procedimentos amplamente encontrados na literatura científica e bem descritos em livros-textos. O que se procurou enfatizar são peculiaridades importantes de tais métodos, inerentes às suas propriedades matemáticas ou às características de suas distribuições estatísticas, que usualmente podem não ser claras aos profissionais da área de agroecologia.

No exemplo hipotético apresentado neste trabalho, os resultados de dois testes *a posteriori* não possibilitaram as mesmas conclusões no caso em que se considerou menor número de repetições (menor tamanho amostral). A cuidadosa ponderação sobre as implicações e a eficiência de testes *a posteriori*, em cada caso (paramétrico e não-paramétrico), deve estar presente como fator essencial no delineamento experimental de pesquisas agroecológicas.

ABSTRACT

DATA TRANSFORMATION AND IMPLICATIONS OF USING THE KRUSKAL-WALLIS TEST IN AGROECOLOGICAL RESEARCH

In the present work, conceptual and practical aspects (hypothetical example using *Lycopersicum esculentum*) which must be considered in the utilization of the Kruskal-Wallis test (a nonparametric statistic test) were discussed, highlighting the possible complications when such test is arbitrarily implemented in agroecological studies. Furthermore, it was considered the equivocation that could occur when rather general assertions

concerning data transformation are made, mainly about the arcsine transformation of the square root on proportion data. Careful consideration in relation to the implications of the outcomes derived from parametric and nonparametric testes should be present as an essential feature in agroecological experimental designs. As indicated in our hypothetical example, such outcomes derived from both tests might not permit the same conclusions in small sample size situations.

KEY-WORDS: DUNN TEST; NONPARAMETRIC METHODS; AGROECOLOGY; DATA TRANSFORMATION; STATISTICS.

REFERÊNCIAS

- 1 ALTIERI, M.A. **Agroecology: the science of sustainable agriculture**. London: Westview Press, 1995. 433 p.
- 2 ALTIERI, M.A. **Agroecologia – a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 3.ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2001.110 p.
- 3 ALTIERI, M.A. et al. **O papel da biodiversidade no manejo de pragas**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2003. 226 p.
- 4 CAMPOS, H. **Estatística experimental não-paramétrica**. 4.ed. Piracicaba: ESALQ-USP, 1983. 350 p.
- 5 EHLERS, E. **Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma**. 2.ed. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 1999. 178 p.
- 6 FERREIRA, P.V. **Estatística experimental aplicada à agronomia**. 3.ed. Maceió: EDUFAL, 2000. 422 p.
- 7 GLIESSMAN, S.R. **Agroecology – ecological processes in sustainable agriculture**. Boca Raton: Levin Publishers, 2000. 358 p.
- 8 HOAGLIN, D.C. et al. **Understanding robust and exploratory data analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1983. 447 p.
- 9 LABOURIAU, L.G. **A germinação de sementes**. Washington D.C.: Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos, 1983. 175 p.
- 10 LAMARCHE, H. **A agricultura familiar: do mito à realidade**. Campinas: Editora da Unicamp, 1998. 348 p.
- 11 LÚCIO, A. D. et al. Características experimentais das publicações da Ciência Rural de 1971 a 2000. **Ciência Rural**, v.33, n.1, p. 161-164, 2003.
- 12 PEDIGO, L.P. **Entomology and pest management**. 3rd ed. London: Prentice Hall, 1999. 691 p.
- 13 PESSOA, M.C.P.Y. et al. **Principais modelos e simuladores utilizados para análise de impactos ambientais de atividades agrícolas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1997. 80 p.
- 14 PIMENTEL GOMES, F. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 160 p.
- 15 SCHULTZ, A.; WIELAND, R. The use of neural networks in agroecological modeling. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.18, p.73-90, 1997.
- 16 SCHULTZ, A. et al. Neural networks in agroecological modeling – stylish application or helpful tool. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.29, p.73-97, 2000.
- 17 SIEGEL, S.; CASTELLAN JR., N. J. **Nonparametric statistics for the behavioral sciences**. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1988. 399 p.
- 18 STORCK, L. et al. **Experimentação vegetal**. Santa Maria: Editora UFSM, 2000. 198 p.
- 19 VIEIRA, S. **Bioestatística - tópicos avançados**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2003. 212 p.
- 20 VIEIRA, S. **Análise de variância (ANOVA)**. São Paulo: Editora Atlas, 2006. 204 p.

- 21 VIVAN, J. **Agricultura & florestas**: princípios de uma interação vital. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 1998. 207 p.
- 22 ZAR, J.H. **Biostatistical analysis**. 4thed. New Jersey: Prentice Hall Inc., 1999. 938 p.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela bolsa de mestrado do primeiro autor (processo 07/02036-1) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de produtividade do terceiro autor (processo 308825/2006-3).