

# ESTATÍSTICA: USO DA ANÁLISE DE REGRESSÃO

Claudio A. Spadotto e A.J.B. Luiz.  
CNPMA/EMBRAPA, Jaguariúna (SP).

Muitos experimentos têm sido analisados por métodos estatísticos inadequados. O uso não criterioso destes métodos, sem o devido cuidado ou sem considerar outras possibilidades, pode reduzir o <sup>valor</sup> das discussões, conclusões e o próprio valor da pesquisa.

Há uma grande gama de tipos possíveis de abordagem estatística dos dados de pesquisa, cada qual atingindo uma finalidade. Por isso, o procedimento estatístico deve ser escolhido criteriosamente. Se o objetivo de um trabalho é estimar a magnitude de um efeito, então a análise usada deve estimá-la; não basta, neste caso, apenas explicar qual dos resultados diferiram significativamente. Não obstante, se o objetivo da pesquisa é determinar um ponto, então a análise deve fazê-lo. Neste caso, não é suficiente verificar somente o comportamento dos dados.

A escolha de um modelo de regressão é uma ponderação na qual devem ser considerados, a adequação ao fenômeno estudado, o ajuste matemático obtido e a sua aplicabilidade. As propriedades do modelo escolhido devem ser justificáveis, tanto logicamente quanto biologicamente. Portanto, a análise deve ser sensata, lógica e apropriada às questões que procura-se responder.

## ANÁLISE DE VARIÂNCIA E DE REGRESSÃO

A ocorrência de trabalhos na área biológica, contendo um mau uso da análise estatística foi observada por Chew (1976), Petersen (1977), Innis (1979), Baker (1980), Dawkins (1981), Dawkins (1983), Hurlbert (1984), Cousens (1988), entre outros.

A análise de variância, embora seja uma técnica poderosa, não deve ser usada de maneira indiscriminada para todos os experimentos.

Por exemplo, se um experimento é altamente estruturado, tal como no delineamento fatorial, ou quando se tem uma série quantitativa de vários níveis, então a estrutura deve ser considerada e examinada na análise. Segundo Cousens (1988), se assim não for, informações importantes podem ser perdidas.

A análise de variância, como é feita usualmente, pressupõe independência dos diversos tratamentos estudados. No caso de uma série quantitativa de tratamentos (ou seja, tratamentos estruturados) com vários níveis, a análise deve refletir a dependência entre os tratamentos, e é necessário se estudar uma correspondência funcional entre os dados.

Baseados em Pimentel Gomes (1987a), podemos dizer que, quando os tratamentos são de natureza qualitativa, os testes de comparação de médias (teste T, teste de Tukey, teste de Scheffé, teste de Duncan, etc) são aplicáveis. Assim também ocorre para tratamentos quantitativos quando há somente duas situações (dois níveis).

Porém, quando os tratamentos quantitativos têm mais de dois níveis, isto não acontece. Em tais situações é essencial considerar a análise de regressão, que trata da equação que liga a variável quantitativa (X) àquela que se quer estimar (Y). A equação real é quase sempre desconhecida mas, em geral, se tem uma idéia dela.

Como toda técnica, a análise de variância pode ser mal usada e pode, então, dar respostas incorretas ou incompletas. Segundo Little (1981) a análise de regressão pode ser incorporada à análise de variância usual e, assim, outros aspectos podem ser examinados.

O uso da regressão permite a interpretação do comportamento dos dados, o conhecimento de valores intermediários e pode permitir a determinação de pontos de interesse (um ponto máximo, um ponto de decisão, etc). Outrossim, proporciona um modo sucinto de estudar resultados de um conjunto de experimentos.

Quanto aos testes de significância, cada um necessita que seus pressupostos sejam atendidos para ser aplicado. Caso contrário, os testes não serão válidos e levarão a conclusões erradas. Muitos testes, por exemplo, assumem que as variâncias são homogêneas.

O uso do teste de Duncan sobre dados provenientes de tratamentos estruturados foi criticado por vários autores, entre os quais: Petersen (1977), e Cousens (1988).

Os testes de comparação múltipla, como o de Duncan e de Tukey, ou testes que usam a Diferença Mínima Significativa (DMS), assumem que os tratamentos a serem comparados não são estruturados - Chew (1976).

Se estes testes são usados para um experimento estruturado, informações úteis serão ignoradas e conclusões erradas e sem sustentação estatística podem ser extraídas - Cousens (1988).

Outro aspecto a considerar é quanto ao nível de significância, para o qual um teste estatístico é feito. O nível é um valor arbitrário, portanto, um resultado não significativo deve ser interpretado com cuidado.

## ESCOLHA DO MODELO DE REGRESSÃO

A escolha de modelos de regressão ocorre, por vezes, sobre bases essencialmente empíricas porque a relação funcional entre X e Y, muitas vezes, não é conhecida e, portanto, não está definida por uma teoria. Isto é devido à complexidade de fatores que afetam, por exemplo, especialmente sob condições de campo.

Portanto, quando a escolha de modelos não ocorre sobre bases teóricas, estes podem ser escolhidos através de bases empíricas adquiridas de experiências e observações, evitando assim, a escolha de modelos que pode ser tendenciosa por advir de somente uma série particular de dados - Miller (1984). Segundo Colwell (1983), muitos modelos têm sido escolhidos desta forma.

A escolha também não pode ser feita simplesmente e exclusivamente sobre as bases de testes estatísticos como, por exemplo, pela comparação de coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Um grande problema ocorre quando os dados são obtidos de experimentos com um pequeno número de níveis. Desta forma, muitos modelos podem ter bom ajuste estatístico. Nestes casos, a escolha de um modelo biologicamente inapropriado pode causar sérios erros de interpolação.

Os critérios para escolher um determinado modelo dependem, sem dúvida, dos conhecimentos prévios sobre o fenômeno a ser estudado.

Para uma função ser considerada um modelo apropriado para um fenômeno biológico deve ser, razoavelmente simples, matematicamente correto, consistente com a natureza do fenômeno e compreensível.

Para Daniel & Wood (1971), dada uma série de modelos biologicamente possíveis, a escolha deve ser feita com base na aplicabilidade, na utilidade potencial e nos critérios estatísticos.

A análise de regressão deve ser usada com cuidado. Os dados devem ser examinados para se ter certeza que o modelo escolhido descreve-os adequadamente e que as variâncias residuais são homogêneas.

## TIPOS DE FUNÇÕES MATEMÁTICAS

Dentre as funções polinomiais, a função linear (ou de 1º grau) só deve ser utilizada nos estudos biológicos em casos muito especiais, onde se espera que a taxa de variação da ordenada (Y) permaneça constante.

A função quadrática (ou de 2º grau) pode ser empregada nos casos em que se espera um acréscimo (ou decréscimo) inicial em Y até que atinja um ponto

de máximo (ou de mínimo), decrescendo (ou crescendo) a seguir.

Existe também a função estimada, usando o método da raiz quadrada, que tem como característica uma resposta inicial bastante acentuada.

Segundo Pimentel Gomes (1987b) os polinômios são funções pouco apropriadas à representação de fenômenos biológicos. O que os recomenda é, principalmente, a facilidade de seu uso, pois são as funções mais simples.

Portanto, por simplicidade e à falta de método melhor, em geral, se considera um equação polinomial. Raramente convém ir além do segundo grau (equação quadrática), pois os polinômios de grau mais elevado têm comportamento pouco apropriado à interpretação de fenômenos biológicos, exceto, às vezes, em intervalos bem delimitados.

Outra possibilidade é a utilização de funções assintóticas. Dentre elas, a função de Spillman ( $Y = A + BC^X$ ) é muito útil para representar uma relação entre Y e X, quando Y tende assintoticamente para um limite finito enquanto X tende a infinito.

Funções assintóticas da forma da função de Spillman, mais comumente usadas para a área de pesquisa biológica são de Mitscherlich, Logística e de Gompertz.

A lei de Mitscherlich, citada por Pimentel Gomes (1987), pode ser aplicada a vários fenômenos na área biológica.

A função exponencial de Mitcherlich é proveniente de uma equação diferencial, não é arbitrária, sendo que seus parâmetros apresentam significados objetivos. Esta função não apresenta a característica de decrescer rapidamente após um ponto máximo, o que acontece com os polinômios. Isto pode ser uma vantagem em vários casos.

Tanto a função Logística como a de Gompertz apresenta um ponto de inflexão, tendo concavidade inversa duas porções da curva dividida por este ponto.

Através do estudo matemático destas funções, nota-se que na de Gompertz o valor da ordenada (Y) no ponto de inflexão é inferior ao da função Logística. Esta diferença de posição do ponto de inflexão é importante quando temos que decidir qual das duas funções deve ser utilizada.

Entretanto, por vezes, temos uma série quantitativa de tratamentos e desejamos determinar um ponto. Nestes casos, pode-se recorrer ao uso de modelos de regressão segmentados que foram tratados em trabalhos de Gallant & Fuller (1973), Colwell (1983), Neter et al. (1985), Colwell et al. (1988), entre outros.

Um dos modelos segmentados é o "Broken Stick", que corresponde à Lei do Mínimo proposta

por Liebig em 1843, que foi revisada por Cate (1979). O modelo "Broken Stick", citado por Colwell et al. (1988), é formado por duas retas que se interseccionam, sendo uma delas horizontal.

As características positivas deste modelo são: a boa representação do patamar de Y máximo e a fácil visualização do coeficiente, que é uma estimativa direta do valor de X a ser determinado.

Fica claro que este trabalho não tem o objetivo de esgotar o assunto, que é tão vasto. Ressaltamos que considerável cuidado deve ser tomado com relação à análise estatística, a qual os dados serão submetidos, isto quando planejamos um experimento.

A análise estatística não é simplesmente a aplicação de algumas receitas ou pacotes estatísticos. Devemos interagir com os profissionais da estatística informando-lhes sobre as bases teóricas e/ou empíricas envolvidas em nosso trabalho.

#### LITERATURA CITADA

- BAKER, R.J.: Multiple comparison tests. *Canadian J. of Plant Science*, 60:325-327, 1980.
- CHEW, V.: Uses and abuses of Duncan's Multiple Range Test. In: Florida State Horticultural Society, 89. Proc., p.251-253, 1976.
- COLWELL, J.D.: Fertilizer requirements. In: CSIRO-Division of Soils, ed.: Soils: an Australian viewpoint p. 795-815. (CSIRO Melbourne, Australia/Academic Press, London), 1983.
- COLWELL, J.D.; SUHET, A.R.; VAN RAIJ, B.: Statistical procedures for developing general soil fertility models for variable regions. CSIRO, Division of Soils, Divisional Report n° 93, Melbourne, 1988, 68p.
- COUSENS, R.: Misinterpretation of results in weed research through inappropriate use of statistics. *Weed Research*, Edinburgh, 28: 281-289, 1988.
- DANIEL, C. & WOOD, F.S.: Fitting equations to data. Wiley Interscience, New York, 1971.
- DAWKINS, H.C.: The misuse of t-tests, LSD and multiple range tests. *Bulletin of the British Ecological Society*, 12:112-115, 1981.
- DAWKINS, H.C.: Multiple comparisons misused: why so frequently in response curve studies? *Biometrics*, 39:789-790, 1983.
- GAILLANT, A.R. & FULLER, W.A.: Fitting segmented polynomial regression models whose join points have to be estimated. *J. of the American Statistical Association*, 68 (341): 144-147, 1973.
- HURLBERT, S.R.: Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs*, 54:187-211, 1984.
- INNIS, G.S.: Letter to the editor. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 60:142, 1979.
- LITTLE, T.M.: Interpretation and presentation of results. *HortScience*, 16:637-640, 1981.
- MILLER, A.J.: Selection of subsets of regression variables. *J. Royal Statistical Soc.*, 147:389-425, 1984.
- NETER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M.H.: Applied linear statistical models. 2<sup>nd</sup> edition, 1985, p. 346-351.
- PETERSEN, R.G.: Use and misuse of multiple comparison procedures. *Agronomy J.*, 69:205-208, 1977.
- PIMENTEL GOMES, F.: A estatística moderna na pesquisa agropecuária. 3<sup>a</sup> ed., Piracicaba, Patafôs, 1987a, 160p.
- PIMENTEL GOMES, F.: Curso de estatística experimental. 12<sup>a</sup> ed. ESTALQ/USP, Piracicaba, 1987b, 467p.