

# CONSIDERAÇÕES SOBRE ANÁLISE ESTATÍSTICA NA PESQUISA DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS.

Edilson Batista de Oliveira <sup>1</sup>

**RESUMO** - Além dos métodos de análise estatística que avaliam a competição ou interação entre os componentes arbóreo, agrícola e/ou animal, a pesquisa de sistemas agroflorestais pode utilizar toda a estatística, uni e multivariada, possível de aplicação nos sistemas florestais e agropecuários convencionais. Neste trabalho, discutiram-se as três metodologias de análise destes experimentos mais difundidas: Testes de Comparação múltipla, Ajustes de Modelos por Técnicas de Regressão e Testes de Contrastes entre Médias de Tratamentos. Foram abordados os tipos de erros mais comuns, bem como as técnicas de análise recomendadas para cada situação.

**ABSTRACT** - All statistical methods, single and multiple variable used in conventional forestry and agricultural systems, could be used in analysing competition and interaction among forestry, agricultural and animal components of agroforestry systems. This work discusses three more used methodologies in analysing conventional forestry and agricultural experiments: multiple comparison tests, adjustments by regression model technics and tests of comparison of two or more treatments means. More common errors are discussed, as well as analyses recommended to specific situations.

## 1. INTRODUÇÃO

"Um sistema agroflorestal é uma forma de uso da terra onde lenhosas perenes interagem biológica e/ou economicamente na mesma área com culturas agrícolas e/ou animais. Estes elementos podem ser associados simultânea ou seqüencialmente, em zonas ou misturas. Os sistemas de produção agroflorestal são apropriados para ecossistemas frágeis ou estáveis, em extensões que variam de pequenas áreas a regiões, a níveis de subsistência ou comercial. Os objetivos desses sistemas são: diversificação da produção; controle da agricultura migratória; aumento dos níveis de matéria orgânica do solo; fixação nitrogênio atmosférico; reciclagem de nutrientes; modificação microclimas e otimização da produtividade do sistema, respeitando-se o conceito de produção sustentável. Um sistema agroflorestal deve ser compatível com práticas socioculturais do local e possibilitar a melhoria das condições de vida da região."

---

<sup>1</sup> Pesquisador da EMBRAPA-CNPFlorestas.

Esta definição hipotética e detalhada, baseada na agregação de elementos mencionados por vários autores, foi apresentada por SOMARRIBA (1992) e serviu de base para que este autor destacasse que um sistema agroflorestal deve obedecer a três condições básicas: 1) existam, pelo menos, duas espécies de plantas que interagem biologicamente, 2) pelo menos um dos componentes seja lenhosa perene e, 3) pelo menos um dos componentes seja planta manejada com fins agrícolas (incluindo pastos).

Apesar de ainda existirem divergências sobre as condições para que um sistema seja considerado como agroflorestal, a pesquisa voltada a estes sistemas tem sido abrangente, envolvendo todos os aspectos abordados nas definições acima. Através da revisão de artigos técnico-científicos da área, pode-se constatar que a estatística aplicável à pesquisa agroflorestal, além de utilizar os métodos de avaliação da competição ou interação entre os componentes arbóreo, agrícola e/ou animal, pode abordar todos os métodos, uni e multivariados, possíveis de aplicação nos sistemas florestais e agropecuários convencionais.

OLIVEIRA & SCHREINER (1987) apresentaram diversos métodos de análise estatística de experimentos agroflorestais aplicáveis, principalmente em casos de plantios simultâneos, como os índices de avaliação de competição interespecífica, a análise bivariada e análises baseadas em métodos utilizados em genética quantitativa, como os estudos de estabilidade e adaptabilidade fenotípica e delineamentos dialélicos.

No presente trabalho, serão abordados métodos genéricos, envolvendo testes de hipóteses que possibilitam a avaliação da significância de fatores quantitativos e qualitativos e de suas interações.

## 2. MÉTODOS DE ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os métodos de análise estatística mais utilizados na pesquisa biológica são:

1. Testes de comparação múltipla (Teste de Duncan, Tukey, etc.)
2. Ajuste de modelos através de técnicas de regressão.
3. Testes de contrastes entre médias de tratamentos.

Entre os métodos acima, os testes de comparação múltipla chamam atenção devido ao seu uso indiscriminado. Diversos autores têm escrito sobre o assunto (CHEW, 1976, 1980; PETERSEN, 1977; LITTLE, 1978; MIZE & SHULTZ, 1990; SAVILLE, 1990). Observa-se, em grande parte dos trabalhos técnico-científicos, uma tendência dos autores em comparar os tratamentos através de testes como os de Tukey e de Duncan, geralmente adotando-se  $P < 0.01$  ou  $P < 0.05$  como níveis mínimos de significância. A simplicidade deste procedimento, principalmente quando se trabalha com muitas médias, tem sido o principal motivo de sua utilização. Entretanto, estes métodos ignoram a estrutura existente entre os tratamentos e a grande quantidade e sobreposição de letras tende a complicar a interpretação dos resultados. Seriam evitadas muitas perdas de informações e de eficiência, se fossem utilizados valores exatos de probabilidade em testes de contrastes ou métodos simples, mas de grande importância como a construção de intervalos de confiança para cada tratamento.

Estudando-se as metodologias de análise estatística dos trabalhos publicados na revista *Agroforestry Systems*, do volume 16 (1991) até o 23 (1993), verificou-se que 76 artigos envolviam alguma metodologia de análise estatística de experimentos. Destes, 26,3% utilizaram metodologia inadequada. Os tipos de erro mais comuns, bem como as técnicas de análise recomendadas para diversas situações experimentais, serão discutidos a seguir:

## 2.1. - Testes de Comparações Múltiplas

Um experimento pode ter fatores qualitativos ou quantitativos. Os qualitativos são os de natureza diferentes (ex: variedades, tipos de solo, locais). Os quantitativos são da mesma natureza, diferindo por suas quantidades (ex: doses de nutriente, datas de plantio, espaçamentos, temperaturas, pH, umidade).

Os Testes de Comparações Múltiplas são adequados a estudos envolvendo fatores qualitativos, quando não é possível estabelecer, a priori, comparações específicas. Por exemplo, o estudo de genótipos, onde se procura determinar grupos com produtividades similares.

CHEW (1976) e SAVILLE (1990) descreveram situações e restrições para a aplicação de determinados testes. Na pesquisa florestal, os testes que mais têm sido utilizados são o LSD e o de Duncan. A escolha do teste mais adequado para cada situação tem sido bastante polêmica. Entretanto, os estatísticos têm condenado a aplicação de testes de comparação múltipla nos casos em que se tem uma estruturação de tratamentos que possibilite a partição dos graus de liberdade ou soma de quadrados de tratamentos e nos casos de estudo de níveis de um fator quantitativo.

## 2.2. - Ajuste de modelos através de técnicas de regressão.

Quando o fator estudado é quantitativo, com mais de dois níveis, a simples comparação das médias entre tratamentos é totalmente infundada. O procedimento de análise recomendado é o ajuste de modelos de regressão.

A equação da regressão e a respectiva curva possibilitam a quantificação das relações entre a variável estudada e os níveis testados. Assim, pode-se estimar máximos ou mínimos, obter funções para análises econômicas e estabelecer predições em qualquer nível intermediário.

Os modelos de regressão podem ser empíricos ou biológicos. Os empíricos são aqueles baseados apenas em experiências práticas, sem o conhecimento das relações biológicas entre os coeficientes do modelo matemático com o fenômeno ou característica biológica. Nos modelos biológicos estas relações são conhecidas. Exemplos destes são as funções sigmóides, delimitadas por assíntotas horizontais, como a de Chapman-Richards que é utilizada em modelagem de crescimento de espécies vegetais e animais em função do tempo. Outro modelo biológico muito conhecido é a função de Mitscherlich, utilizada em ensaios de adubação.

Para o teste de ajustamento dos modelos, recomenda-se a aplicação de alguns métodos que são complementares como teste F, Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ), Erro Padrão da Estimativa ( $S_{y_x}$ ) e Análise Gráfica dos Resíduos (DRAPER & SMITH,

1977). Na utilização de modelos empíricos, a prática mais frequente é o ajuste de modelos polinomiais ( $Y = a_0 + a_1X + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots$ ). Pode-se utilizar um modelo com maior número de coeficientes e testá-los, eliminando os que não forem significativos, para que o polinômio fique apenas com os mais importantes.

Os modelos com termos de alta ordem tendem a ser significativos. Entretanto, esses não permitem uma interpretação biológica apropriada. Frequentemente, um modelo de primeiro ou segundo grau explica satisfatoriamente os efeitos dos níveis do fator em estudo sobre a variável resposta. A significância de um modelo linear (1º grau), por exemplo, indica que todos os níveis são significativamente diferentes, inclusive os intermediários não testados no experimento. Assim, substitui-se a inapropriada comparação dos tratamentos dois a dois, realizada em testes como o de Duncan, por um procedimento de análise mais adequado.

### 3. TESTES DE CONTRASTES ENTRE MÉDIAS DE TRATAMENTOS

Quando os fatores são qualitativos, recomenda-se a utilização de comparações que levem em conta o conhecimento e as hipóteses estabelecidas a priori pelo pesquisador. Este procedimento consiste na partição dos graus de liberdade da fonte de variação de interesse, em graus de liberdade individuais ou em grupos.

Esta partição não tem como pré-requisito um resultado significativo do teste F na comparação de todos os tratamentos em conjunto, com  $t-1$  graus de liberdade. É possível o estabelecimento de  $t-1$  contrastes ortogonais. Se, por exemplo, apenas um dos contrastes for significativo, este resultado seria diluído entre os demais ( $t-2$ ) contrastes, podendo levar a um valor de F não significativo, para os tratamentos em conjunto (CHEW, 1976).

Um contraste é definido como uma função linear de variáveis, em que a soma de seus coeficientes é igual a zero. Considerando um conjunto de  $t$  tratamentos ( $T_1, T_2, \dots, T_t$ ), baseados no mesmo número de repetições, os contrastes  $Y_1 = \sum_{i=1}^t a_i T_i$  onde  $\sum_{i=1}^t a_i = 0$  e  $Y_2 = \sum_{i=1}^t b_i T_i$  com  $\sum_{i=1}^t b_i = 0$ , serão ortogonais, ou independentes, se a soma dos produtos de seus coeficientes for nula ( $\sum_{i=1}^t a_i b_i = 0$ ).

**Exemplo 1.** Considere-se um experimento para comparação das produções de biomassa de 2 variedades da espécie A ( $A_1$  e  $A_2$ ), 2 variedades da espécie B ( $B_1$  e  $B_2$ ), e uma espécie testemunha (T). Seriam recomendáveis os seguintes contrastes ortogonais, cujos coeficientes estão apresentados na Tabela 1:

$$\begin{aligned} C_1 &= T \text{ versus } A_1, A_2, B_1, B_2 \\ C_2 &= A_1 \text{ e } A_2 \text{ versus } B_1 \text{ e } B_2 \\ C_3 &= A_1 \text{ versus } A_2 \\ C_4 &= B_1 \text{ versus } B_2 \end{aligned}$$

**Tabela 1.** Representação dos coeficientes dos contrastes para comparações dos tratamentos especificados no Exemplo 1.

Contraste	Tratamentos				
	$T$	$A_1$	$A_2$	$B_1$	$B_2$
$C_1$	4	-1	-1	-1	-1
$C_2$	0	1	1	-1	-1
$C_3$	0	1	-1	0	0
$C_4$	0	0	0	1	-1

A partição ortogonal dos graus de liberdade e soma de quadrado de tratamentos resultará em um quadro de análise de variância informativo e de fácil interpretação.

No estudo de sistemas agroflorestais, geralmente, os experimentos exigem grandes áreas para sua implantação e a escassez de recursos impossibilita a utilização de um número suficiente de repetições para se detectar diferenças significativas a níveis de probabilidade fixos e rigorosos. Nesta metodologia, cada contraste pode ser testado pelo teste F a níveis exatos de significância, o que possibilita o máximo de exploração dos resultados. Os contrastes de interesse devem ser estabelecidos a priori. Para contrastes elaborados após o exame das médias dos tratamentos, é recomendável que se adotem testes de comparações múltiplas.

A metodologia de contrastes é aplicável, também, no desdobramento de efeitos e interações em experimentos fatoriais. A aplicação de testes de comparação múltipla em quadros com todas as médias de tratamentos tem sido um erro cometido com frequência na análise destes experimentos. Se o interesse, ao se conceber o experimento, era testar fatores isoladamente e suas interações, um teste de comparação múltipla, desconhecendo este aspecto do planejamento, representa um retrocesso em termos de conhecimento do que está sendo estudado.

## AGRADECIMENTO

Agradeço ao Dr. Jarbas Yukio Shimizu, pesquisador da EMBRAPA/CNPF, pelas valiosas sugestões apresentadas.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- CHEW,V. Comparing treatment means: A compedium. **HortScience**, 11(4):348-357,1976
- CHEW,V. Testing differences among means. Correct interpretation and some alternatives. **HortScience**, 15:467-470,1980.
- DRAPER,N.;SMITH,H. **Applied Regression Analysis**. 2nd ed. Willey, New York.1981.
- LITTLE,T.M. If Galileo published in HortScience. **HortScience** 13(5):504-506,1978
- MIZE,C.W.; SHULTZ,R.C.Comparing treatment means correctly and appropriately. **Canadian Journal of Forestry Research**. 15:1142-1148,1990
- OLIVEIRA,E.B.; SCHREINER,H.G. Caracterização e análise estatística de experimentos de agrossilvicultura. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, 15: 19-40,1987
- PETERSEN, R.G. Use and misuse of multiple comparison procedures. **Agronomy Journal**. 69 (2):205-208,1977
- SAVILLE,D.J. Multiple comparison procedures: The practical solution. **The American Statistician**. 44(2):174-180,1990
- SOMARRIBA, E. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. **Agroforestry Systems**. 19(3):233-240,1992