

# MAF 261 - Estatística Experimental

Prof. Fernando de Souza Bastos

Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas  
Universidade Federal de Viçosa  
Campus UFV - Florestal

# Sumário

- 1 Contrastes
- 2 Estimador do Contraste
- 3 Variância do Estimador de um Contraste
- 4 Contrastes Ortogonais
- 5 Métodos para Obtenção de Grupos de Contrastes Mutuamente Ortogonais

O estudo de contrastes é muito importante na Estatística Experimental, principalmente quando o experimento em análise é composto por mais do que dois tratamentos. Com o uso de contrastes é possível ao pesquisador estabelecer comparações, entre tratamentos ou grupos de tratamentos, que sejam de interesse. Vamos estudar os fundamentos para estabelecer grupos de contrastes, obter a estimativa para cada contraste estabelecido, bem com estimar a variabilidade associada a cada um destes contrastes.

**Definição:** Uma função linear de médias populacionais de tratamentos dada por

$$C = a_1\mu_1 + a_2\mu_2 + \cdots + a_n\mu_n$$

é dita ser um contraste se satisfizer:

$$\sum_{i=1}^n a_i = 0$$

Na prática, geralmente não se conhece os valores das médias populacionais  $\mu_i$ , mas suas estimativas. Daí, em Estatística Experimental, não trabalhamos com o contraste  $C$  mas com o seu estimador  $\hat{C}$ , que também é uma função linear de médias obtidas por meio de experimentos ou amostras. Assim tem-se que o estimador para o contraste de médias é dado por:

$$\hat{C} = a_1\hat{\mu}_1 + a_2\hat{\mu}_2 + \cdots + a_n\hat{\mu}_n$$

# Exemplo

É contraste?

①  $C_1 = \mu_1 - \mu_2$

# Exemplo

É contraste?

1  $C_1 = \mu_1 - \mu_2$

2  $C_2 = \mu_1 + 2\mu_2 + 5\mu_3 - 4\mu_4 - 3\mu_5$

# Exemplo

É contraste?

1  $C_1 = \mu_1 - \mu_2$

2  $C_2 = \mu_1 + 2\mu_2 + 5\mu_3 - 4\mu_4 - 3\mu_5$

3  $C_1 = \mu_1 + \mu_2 - 2\mu_3$

Num experimento de consórcio na cultura do abacaxi, com 5 repetições, as médias de produção de frutos de abacaxi (em t/ha), foram as seguintes:

Tratamentos	$\hat{\mu}_i$
1–Abacaxi (0,90 x 0,30m) monocultivo	53,5
2–Abacaxi (0,80x0,30m) monocultivo	56,5
3–Abacaxi (0,80x0,30m)+ amendoim	62,0
4–Abacaxi (0,80x0,30m)+ feijão	60,4

Pede-se obter as estimativas dos seguintes contrastes:

$$C_1 = \mu_1 + \mu_2 - \mu_3 - \mu_4; \quad C_2 = \mu_1 - \mu_2; \quad C_3 = \mu_3 - \mu_4$$

Considere o estimador do contraste  $C$ , dado por:

$$\hat{C} = a_1\hat{\mu}_1 + a_2\hat{\mu}_2 + \cdots + a_n\hat{\mu}_n$$

A variância do estimador do contraste é dada por:

$$V(\hat{C}) = V(a_1\hat{\mu}_1 + a_2\hat{\mu}_2 + \cdots + a_n\hat{\mu}_n)$$

Admitindo independência entre as médias, temos:

$$V(\hat{C}) = V(a_1\hat{\mu}_1) + V(a_2\hat{\mu}_2) + \cdots + V(a_n\hat{\mu}_n)$$

Logo,

$$V(\hat{C}) = a_1^2 V(\hat{\mu}_1) + a_2^2 V(\hat{\mu}_2) + \cdots + a_n^2 V(\hat{\mu}_n)$$

Lembrando que  $\hat{\mu}_i = \frac{\sum_{j=1}^{r_i} x_j}{r_i}$  temos que  $V(\hat{\mu}_i) = \frac{\sigma_i^2}{r_i}$ , assim:

$$V(\hat{C}) = a_1^2 \frac{\sigma_1^2}{r_1} + a_2^2 \frac{\sigma_2^2}{r_2} + \dots + a_n^2 \frac{\sigma_n^2}{r_n}$$

Admitindo-se homogeneidade de variâncias, ou seja,  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_n^2 = \sigma^2$ , então

$$V(\hat{C}) = \left( \frac{a_1^2}{r_1} + \frac{a_2^2}{r_2} + \dots + \frac{a_n^2}{r_n} \right) \sigma^2 = \sigma^2 \sum_{i=1}^n \frac{a_i^2}{r_i}$$

Na prática, geralmente, não se conhece a variância  $\sigma^2$ , mas sua estimativa a qual é obtida por meio de dados experimentais. Esta estimativa é denominada como estimador comum  $S_c^2$ . Então, o que normalmente se obtém é o valor do estimador da variância do estimador do contraste, que é obtida por:

$$\hat{V}(\hat{C}) = S_c^2 \sum_{i=1}^n \frac{a_i^2}{r_i}$$

Em algumas situações desejamos testar um grupo de contrastes relacionados com o experimento em estudo. Alguns tipos de testes indicados para este objetivo, necessitam que os contrastes, que compõem o grupo a ser testado, sejam ortogonais entre si. A ortogonalidade entre os contrastes indica independência linear na comparação estabelecida por um contraste com a comparação estabelecida pelos outros contrastes.

Sejam os estimadores dos contrastes de  $C_1$  e  $C_2$  dados, respectivamente, por:

$$\begin{aligned}\hat{C}_1 &= a_1\hat{\mu}_1 + a_2\hat{\mu}_2 + \cdots + a_n\hat{\mu}_n \\ \hat{C}_2 &= b_1\hat{\mu}_1 + b_2\hat{\mu}_2 + \cdots + b_n\hat{\mu}_n\end{aligned}$$

A covariância entre  $\hat{C}_1$  e  $\hat{C}_2$ , supondo independência entre tratamentos, é obtida por  $Cov(\hat{C}_1, \hat{C}_2) = a_1b_1V(\hat{\mu}_1) + a_2b_2V(\hat{\mu}_2) + \cdots + a_nb_nV(\hat{\mu}_n)$ . E como já vimos, a variância da média amostral é dada por  $V(\hat{\mu}_i) = \frac{\sigma_i^2}{r_i}$ , para  $i = 1, 2, \dots, n$ . Logo,

$$Cov(\hat{C}_1, \hat{C}_2) = a_1b_1\frac{\sigma_1^2}{r_1} + a_2b_2\frac{\sigma_2^2}{r_2} + \cdots + a_nb_n\frac{\sigma_n^2}{r_n}.$$

Admitindo que exista homogeneidade de variâncias entre os tratamentos, ou seja,  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_n^2 = \sigma^2$ , então,

$$\text{Cov}(\hat{C}_1, \hat{C}_2) = \left( \frac{a_1 b_1}{r_1} + \frac{a_2 b_2}{r_2} + \dots + \frac{a_n b_n}{r_n} \right) \sigma^2 = \sigma^2 \sum_{i=1}^n \frac{a_i b_i}{r_i}$$

Sabe-se ainda que, se duas variáveis aleatórias são independentes, a covariância entre elas é igual a zero. Assim, se  $\hat{C}_1$  e  $\hat{C}_2$  são independentes, a covariância entre eles é igual a zero, isto é:

$$\text{Cov}(\hat{C}_1, \hat{C}_2) = 0$$

Para que a covariância seja nula, é necessário, portanto que:

$$\sum_{i=1}^n \frac{a_i b_i}{r_i} = 0$$

Esta é a condição de ortogonalidade entre dois contrastes para um experimento com número diferente de repetições para os tratamentos. Para um experimento com o mesmo número de repetições, satisfazendo as mesmas pressuposições (médias independentes e homogeneidade de variâncias), a condição de ortogonalidade se resume a:

$$\sum_{i=1}^n a_i b_i = 0$$

Para um experimento com  $I$  tratamentos, podem ser formados vários grupos de contrastes ortogonais, no entanto cada grupo deverá conter no máximo  $(I - 1)$  contrastes ortogonais, o que corresponde ao número de graus de liberdade para tratamentos. Dentro de um grupo de contrastes ortogonais, todos os contrastes tomados dois a dois, serão também ortogonais.

# Obtenção por Meio de Sistema de Equações Lineares

Neste método, deve-se estabelecer, a princípio, um contraste que seja de interesse e, a partir deste é que os demais são obtidos. Por meio da imposição da condição de ortogonalidade e da condição para ser um contraste, obtém-se equações lineares, cujas incógnitas são os coeficientes das médias que compõem o contraste. Como o número de incógnitas é superior ao número de equações existentes, será sempre necessário atribuir valores a algumas incógnitas. É desejável que os valores a serem atribuídos, permitam que os coeficientes sejam números inteiros.

Por meio desta metodologia, é possível estabelecer facilmente um grupo de contrastes ortogonais. A metodologia pode ser resumida nos seguintes passos (BANZATTO e KRONKA, 1989):

- 1 Divide-se o conjunto das médias de todos os tratamentos do experimento em dois grupos. O primeiro contraste é obtido pela comparação das médias de um grupo contra as médias do outro grupo. Para isso atribui-se sinais positivos para membros de um grupo e negativos para membros do outro grupo.

Por meio desta metodologia, é possível estabelecer facilmente um grupo de contrastes ortogonais. A metodologia pode ser resumida nos seguintes passos (BANZATTO e KRONKA, 1989):

- 1 Divide-se o conjunto das médias de todos os tratamentos do experimento em dois grupos. O primeiro contraste é obtido pela comparação das médias de um grupo contra as médias do outro grupo. Para isso atribui-se sinais positivos para membros de um grupo e negativos para membros do outro grupo.
- 2 Dentro de cada grupo formado no passo anterior, que possui mais que uma média, aplica-se o passo 1, subdividindo-os em subgrupos. Repete-se este passo até que se forme subgrupos com apenas uma média. Ao final, deveremos ter formado  $(I - 1)$  comparações.

Para se obter os coeficientes que multiplicam cada média que compõem os contrastes estabelecidos, deve-se, para cada contraste:

- 1 Verificar o número de parcelas experimentais envolvidas no 1º grupo, digamos  $g_1$ , e o número de parcelas experimentais envolvidas no 2º grupo, digamos  $g_2$ . Calcula-se o mínimo múltiplo comum (m.m.c.) entre  $g_1$  e  $g_2$ .

Para se obter os coeficientes que multiplicam cada média que compõem os contrastes estabelecidos, deve-se, para cada contraste:

- 1 Verificar o número de parcelas experimentais envolvidas no 1º grupo, digamos  $g_1$ , e o número de parcelas experimentais envolvidas no 2º grupo, digamos  $g_2$ . Calcula-se o mínimo múltiplo comum (m.m.c.) entre  $g_1$  e  $g_2$ .
- 2 Dividir o m.m.c. por  $g_1$ . O resultado será o coeficiente de cada média do 1º grupo.

Para se obter os coeficientes que multiplicam cada média que compõem os contrastes estabelecidos, deve-se, para cada contraste:

- 1 Verificar o número de parcelas experimentais envolvidas no 1º grupo, digamos  $g_1$ , e o número de parcelas experimentais envolvidas no 2º grupo, digamos  $g_2$ . Calcula-se o mínimo múltiplo comum (m.m.c.) entre  $g_1$  e  $g_2$ .
- 2 Dividir o m.m.c. por  $g_1$ . O resultado será o coeficiente de cada média do 1º grupo.
- 3 Dividir o m.m.c. por  $g_2$ . O resultado será o coeficiente de cada média do 2º grupo.

Para se obter os coeficientes que multiplicam cada média que compõem os contrastes estabelecidos, deve-se, para cada contraste:

- 1 Verificar o número de parcelas experimentais envolvidas no 1º grupo, digamos  $g_1$ , e o número de parcelas experimentais envolvidas no 2º grupo, digamos  $g_2$ . Calcula-se o mínimo múltiplo comum (m.m.c.) entre  $g_1$  e  $g_2$ .
- 2 Dividir o m.m.c. por  $g_1$ . O resultado será o coeficiente de cada média do 1º grupo.
- 3 Dividir o m.m.c. por  $g_2$ . O resultado será o coeficiente de cada média do 2º grupo.
- 4 Multiplicar os coeficientes obtidos pelo número de repetições da respectiva média. Se possível, simplificar os coeficientes obtidos por uma constante. No caso em que o número de repetições é igual para todos os tratamentos, este passo pode ser eliminado.

# Exemplo

$$C_1 = (T_1, T_2, T_3, T_4) \text{ vs } T_5$$

$$C_2 = (T_1, T_2, T_3) \text{ vs } T_4$$

$$C_3 = (T_1, T_2) \text{ vs } T_3$$

$$C_4 = (T_1) \text{ vs } T_2$$

Em que  $T_1$  possui 6 repetições,  $T_2$  possui 6,  $T_3$  possui 4,  $T_4$  possui 5 e  $T_5$  possui 6.