

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Delineamentos Experimentais</b>	<b>2</b>
1.1	Delineamento Inteiramente Casualizado . . . . .	2
1.2	Delineamento Blocos Casualizados (DBC) . . . . .	3
1.3	Delineamento Quadrado Latino (DQL) . . . . .	6
1.4	Controle de qualidade de experimentos . . . . .	9
1.5	Número de repetições . . . . .	9

## DELINEAMENTOS EXPERIMENTAIS

---

**Definição 1.1:** *Delineamento experimental ou desenhos experimentais é o plano utilizado para realizar o experimento. Esse plano implica na maneira como os diferentes tratamentos deverão ser distribuídos nas parcelas experimentais, e como serão analisados os dados a serem obtidos*

Os principais delineamentos são:

- Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC)
- Delineamento em Blocos Casualizados (DBC)
- Delineamento Quadrado Latino (DQL)

### 1.1 DELINEAMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

O Delineamento inteiramente casualizado (DIC) é utilizado quando a variabilidade entre as unidades experimentais for muito pequena. Deve ser utilizado em locais em que as condições experimentais possam ser bem controladas (laboratórios, casa de vegetação, terrenos com pouca heterogeneidade, etc).

Vantagens da sua utilização

- O número de graus de liberdade para o Erro Experimental é máximo;
- O número de tratamentos e de repetições depende apenas do número de parcelas experimentais disponíveis;
- é o delineamento mais simples de ser instalado e conduzido

Desvantagens da sua utilização

- É mais apropriado para um pequeno número de tratamentos e para um material experimental homogêneo;
- Todas as fontes de variação não associadas aos tratamentos farão parte do resíduo, podendo comprometer a precisão das análises;

- Super-estima a variância residual

Aleatorização - Os tratamentos são designados aleatoriamente às parcelas experimentais. Este tipo de sorteio implica em que todo tratamento tem a mesma chance de ser aplicado à qualquer parcela na área experimental

O modelo estatístico para representar um DIC é dado por

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

- $y_{ij}$  é o valor observado na unidade experimental que recebeu o tratamento  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, I$ ) na repetição  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, J$ )
- $\mu$  representa a média geral
- $\tau_i$  representa o efeito do tratamento  $i$
- $\varepsilon_{ij}$  é o erro experimental observado na unidade experimental que recebeu o tratamento  $i$  na repetição  $j$ .

Análise de Variância (ANOVA)

FV	GL	SQ	QM	Fc
Tratamento	I-1	SQTratamento	QMTratamento	$\frac{QMTratamento}{QMErro}$
Erro	IJ-I	SQErro	QMErro	
Total	IJ-1	SQTotal		

## 1.2 DELINEAMENTO BLOCOS CASUALIZADOS (DBC)

Neste delineamento o material experimental é dividido em grupos homogêneos denominados bloco. Cada bloco representa uma repetição e recebe uma vez cada tratamento. O número de Unidades Experimentais por bloco é igual ao número de tratamentos. O principal objetivo é manter o erro, dentro de cada bloco, tão pequeno quanto seja possível.

Aleatorização - Quando as parcelas se acham agrupadas em blocos, os tratamentos são aleatoriamente designados às unidades dentro de cada bloco. Posteriormente, os blocos são sorteados na área experimental.

Vantagens da sua utilização

- Permite o controle da influência de uma fonte de variação além do efeito de tratamentos, pelo agrupamento hábil das parcelas (controle local)
- Com o agrupamento das parcelas, geralmente se obtém resultados mais precisos que aqueles obtidos num DIC.

Desvantagens da sua utilização

- Quando há perda de parcela(s) em algum tratamento. Apesar de existir um método apropriado de estimação desses valores, há a perda de eficiência na comparação de médias envolvendo esses tratamentos.

O modelo estatístico para representar um DBC é dado por

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + b_j + \varepsilon_{ij}$$

- $y_{ij}$  é o valor observado na unidade experimental que recebeu o tratamento  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, I$ ) na repetição  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, J$ )
- $\mu$  representa a média geral
- $\tau_i$  representa o efeito do tratamento  $i$
- $b_j$  representa o efeito do bloco  $j$
- $\varepsilon_{ij}$  é o erro experimental observado na unidade experimental que recebeu o tratamento  $i$  no bloco  $j$ .

Análise de Variância (ANOVA)

FV	GL	SQ	QM	Fc
Blocos	J-1	SQBlocos	QMBlocos	$\frac{QMBlocos}{QMErro}$
Tratamento	I-1	SQTratamento	QMTratamento	$\frac{QMTratamento}{QMErro}$
Erro	(I-1)(J-1)	SQErro	QMErro	
Total	IJ-1	SQTotal		

As somas de quadrados são obtidas da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 SQTotal &= \sum_i \sum_j (y_{ij})^2 - C & C &= \frac{\left( \sum_i \sum_j y_{ij} \right)^2}{IJ} \\
 SQBlocos &= \frac{\sum_i (y_{.j})^2}{I} - C \\
 SQTratamento &= \frac{\sum_i (y_{i.})^2}{J} - C \\
 SQErro &= SQTotal - SQTratamento - SQBloco
 \end{aligned}$$

Formulado-se a hipótese  $H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_i$  ou  $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i$ . O teste da hipótese na ANOVA é dado por

$$F_c = \frac{QMTratamento}{QMErro}$$

A partir do cálculo de  $F_c$  pode-se obter:

- o valor-p associado ao  $F_c$  e compara-lo ao nível de significância  $\alpha$
- obter o dado na tabela de distribuição  $F$  para  $(I - 1)$  e  $(IJ - I)$  graus de liberdade, respectivamente, de tratamentos e do erro e comparar com o  $F_c$

Rejeita-se  $H_0$  se  $\text{valor} - p < \alpha$  ou  $F_c > F$

Geralmente o teste de hipótese com relação aos efeitos de blocos não é feito por dois motivos:

- O interesse principal é testar os efeitos de tratamento, o propósito usual dos blocos é eliminar fontes estranhas de variação.
- As unidades experimentais sejam distribuídas aleatoriamente aos tratamentos, mas os blocos são obtidos de uma maneira não aleatória.

Ao aplicar o teste F numa análise de variância é necessário verificar as pressuposições do modelo.

- Os erros têm distribuição Normal (normalidade).
- Os erros das observações não são correlacionados (independência);
- Os erros têm a mesma variância (homocedasticidade);
- Os efeitos de blocos e tratamentos são aditivos

**Exemplo 1.1:** Um experimentador está interessado em testar o % de motilidade em sêmen de jumento. Para isto ele dispunha de 5 animais. O interesse é testar 4 diferentes diluentes e seu efeito sobre a motilidade. Para cada animal foi testado 4 alíquotas. As alíquotas iguais de uma mesma coleta de cada animal são sorteadas para cada tratamento e nesse caso cada animal é considerado um bloco.

Jumento	Diluentes			
	gema	leite	coco	citrato
1	80	76	77	65
2	72	65	60	50
3	63	55	53	48
4	83	75	73	64
5	76	70	69	57

Análise de Variância (ANOVA)	FV	GL	SQ	QM	$F_c$	valor-p
	Blocos	4	1117,7	279,425	73,052	<0,0001
	Diluyente	3	829,35	276,45	72,275	<0,0001
	Erros	12	45,9	3,825		

Verificando as pressuposições:

- Teste de Durbin-Watson -  $\text{valor} - p = 0,6216$
- Teste de Shapiro-Wilk -  $\text{valor} - p = 0,8612$
- Teste de Bartlett -  $\text{valor} - p = 0,9700$
- Aditividade -  $\text{valor} - p = 0,9139$

Teste de Tukey

Tratamento	Média
Gema	74,8a
Leite	68,2b
Coco	66,4b
Citrato	56,8c

Médias seguidas de mesma letra não difere entre si ao nível nominal de  $\alpha = 5\%$  de significância

### 1.3 DELINEAMENTO QUADRADO LATINO (DQL)

Neste delineamento os tratamentos são agrupados nas repetições de duas maneiras distintas. Esta sistematização dos blocos em duas direções (designadas genericamente por "linhas" e "colunas") permite eliminar os efeitos de duas fontes de variação do erro experimental. O esquema do delineamento para  $I$  tratamentos corresponde a um "quadrado" com  $I$  linhas e  $I$  colunas, contendo  $I^2$  parcelas. Cada tratamento ocorre uma vez em cada linha e em cada coluna.

Aleatorização - Em geral, é satisfatório tomar um quadrado latino qualquer, permutar as linhas e colunas e designar, ao acaso, os tratamentos às letras

O modelo estatístico para representar um DQL é dado por

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + c_j + l_k + \varepsilon_{ijk}$$

- $y_{ijk}$  é o valor observado na unidade experimental que recebeu o tratamento  $i$ , na coluna  $j$  e linha  $k$
- $\mu$  representa a média geral
- $\tau_i$  representa o efeito do tratamento  $i$
- $c_j$  representa o efeito da coluna  $j$
- $l_k$  representa o efeito da linha  $k$
- $\varepsilon_{ijk}$  é o erro experimental observado na unidade experimental que recebeu o tratamento  $i$ , na coluna  $j$  e linha  $k$

## Análise de Variância (ANOVA)

FV	GL	SQ	QM	Fc
Coluna	I-1	SQColuna	QMColuna	$\frac{QMColuna}{QMErro}$
Linha	I-1	SQLinha	QMLinha	$\frac{QMLinha}{QMErro}$
Tratamento	I-1	SQTratamento	QMTratamento	$\frac{QMTratamento}{QMErro}$
Erro	(I-1)(I-2)	SQErro	QMErro	
Total	$I^2 - 1$	SQTotal		

As somas de quadrados são obtidas da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 SQTotal &= \sum_i \sum_j (y_{ij})^2 - C & C &= \frac{\sum_i \sum_j (y_{ij})^2}{IJ} \\
 SQColuna &= \frac{\sum_i (y_{.j})^2}{I} - C & SQLinha &= \frac{\sum_i (y_{.k})^2}{I} - C \\
 SQTratamento &= \frac{\sum_i (y_{i.})^2}{I} - C \\
 SQErro &= SQTotal - SQTratamento - SQColuna - SQLinha
 \end{aligned}$$

Formulado-se a hipótese  $H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_i$  ou  $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i$ . O teste da hipótese na ANOVA é dado por

$$F_c = \frac{QMTratamento}{QMErro}$$

A partir do cálculo de  $F_c$  pode-se obter:

- o valor-p associado ao  $F_c$  e compara-lo ao nível de significância  $\alpha$
- obter o dado na tabela de distribuição  $F$  para  $(I-1)$  e  $(IJ-I)$  graus de liberdade, respectivamente, de tratamentos e do erro e comparar com o  $F_c$

Rejeita-se  $H_0$  se  $\text{valor} - p < \alpha$  ou  $F_c > F$

Geralmente o teste de hipótese com relação aos efeitos de linhas e colunas.

Ao aplicar o teste F numa análise de variância é necessário verificar as pressuposições do modelo.

- Os erros têm distribuição Normal (normalidade).
- Os erros das observações não são correlacionados (independência);
- Os erros têm a mesma variância (homocedasticidade);
- Os efeitos de blocos e tratamentos são aditivos

**Exemplo 1.2:** Um experimento foi instalado para testar o efeito de anestésicos sobre o metabolismo animal (Frequência cardíaca e respiratória, pressão sanguínea, tempo efetivo de anestesia). Deseja-se testar 5 tipos de anestésicos. Considerando um experimento com 5 repetições seriam necessários 25 animais. Uma forma de reduzir o numero de animais e utilizar o DQL. Assim, para testar 5 tipos de anestésicos, seriam necessários apenas 5 animais. Cada animal receberia um tipo de anestésico, e isso seria feito em 5 diferentes dias. Assim, teríamos um primeiro controle que é o animal e o segundo que é o dia.

Croqui do Experimento

Animal	Dias de execução				
	I	II	III	IV	V
1	D	E	B	C	A
2	E	A	C	D	B
3	A	B	D	E	C
4	B	C	E	A	D
5	C	D	A	B	E

Resultados do Experimento

Animal	Dias de execução									
	I		II		III		V		VI	
1	112,90	D	135,60	A	137,30	C	116,21	D	125,87	B
2	117,34	E	136,54	B	115,53	D	118,02	E	136,93	C
3	134,54	A	132,83	C	116,67	E	133,42	A	118,09	D
4	131,06	B	126,23	D	137,92	A	130,99	B	121,07	E
5	136,20	C	119,06	E	129,15	B	134,23	C	137,87	A

Análise de Variância (ANOVA)	FV	GL	SQ	QM	$F_c$	valor-p
	Coluna	4	43,39	10,85	1,62	0,2322
	Linha	4	144,49	36,12	5,40	0,0101
	tratamento	4	1540,26	385,07	57,58	<0,0001
	Erro	12	80,25	6,69		
	Total	24	1808,39			

Verificando as pressuposições:

- Teste de Durbin-Watson -  $valor - p = 0,9897$
- Teste de Shapiro-Wilk -  $valor - p = 0,7676$
- Teste de Bartlett -  $valor - p = 0,9522$
- Teste de Aditividade -  $valor - p = 0,5404$

Teste de Tukey



Tratamento	Média
A	135,87a
C	135,50a
B	130,72a
E	118,43b
D	117,79b

Médias seguidas de mesma letra não difere entre si ao nível nominal de 5% de significância

## 1.4 CONTROLE DE QUALIDADE DE EXPERIMENTOS

A qualidade de um experimento pode ser avaliada pela magnitude do erro experimental. O erro experimental consiste na variação não controlada pelo pesquisador e ocorre de forma aleatória em cada Unidade Experimental. O erro experimental é inevitável, mas pode ser controlado. A magnitude do erro experimental pode ser avaliada pelo coeficiente de variação (CV)

$$CV = \frac{\sqrt{QME_{\text{erro}}}}{\hat{m}}$$

- $QME_{\text{erro}}$  quadrado médio do erro obtido na análise de variância
- $\hat{m}$  média geral do experimento.

O CV é um coeficiente sem unidade de medida, pode ser utilizado para comparar a precisão do experimento. Experimentos com CV alto tendem a rejeitar  $H_0$  com maior dificuldade, mesmo que existam diferenças entre os tratamentos.

## 1.5 NÚMERO DE REPETIÇÕES

A determinação do número de repetições depende vários fatores, tais como:

- o material experimental disponível,
- a variabilidade das características estranhas,
- a estrutura das condições experimentais,

O Número de repetições por tratamento de tal forma que tenhamos no mínimo 20 parcelas (Gomes, 1978).

O Número de repetições por tratamento de forma que grau de liberdade (GL) do erro experimental seja:

- superior a 10 (Gomes, 1978)
- superior a 20 (Steel et al, 1997)

Cochran e Cox (1957) propõe a seguinte expressão

$$r \geq \frac{2CV^2(t_1 + t_2)^2}{\delta^2}$$

- $CV$  - coeficiente de variação;
- $t_1$  valor de tabela t de Student, correspondente ao nível de significância  $\alpha$
- $t_2$  valor de tabela t de Student  $2(1-P)$ , em que  $P$  é a probabilidade de se obter um resultado significativo, considerando-se o nível de significância  $\alpha$
- $\delta$  diferença entre médias a ser detectada em %.