EXPERIMENTOS EM QUADRADO LATINO

1. **UTILIZADOS** – Quando há duas fontes principais de variação e que podem ser controladas (ambiental e/ou material Experimental)

Exemplo de Fatores:

- Diferenças de fertilidade do solo em duas direções.
- Diferenças simultâneas de leitegada (influência da mãe) e peso de leitões lactentes.
- Diferenças atribuídas a <u>dia da semana</u> e <u>operador</u> (máquinas).

2. ILUSTRAÇÃO: ENSAIOS CONTÍNUOS COM SUÍNOS

O D.Q.L. é bastante empregado em ensaios com animais de porte médio (suínos).

- FASES $\begin{cases} -\text{ lactentes} \\ -\text{ crescimento} \\ -\text{ terminação} \end{cases}$

- FATORES DE VARIAÇÃO A CONTROLAR

  - Raça (Duroc/Hampshire) ou grau de sangue (3/4 Landrace + 1/4 Large White).
  - Sexo.
  - Idade e peso inicial.
  - Filiação (pais).
  - Instalação e condução do ensaio.

- PARCELAS
  Um ou mais leitões, ou toda a leitegada (conjunto dos leitões nascidos em um único parto: leitoada).

- PERÍODO PRÉ-EXPERIMENTAL

  Vermifugar os animais e fornecer uma ração padrão visando a uniformização do peso. Descartar animais problemáticos (doentios, diarréia) para que eles não sejam mais uma fonte de variação indesejável na pesquisa.

- PESAGEM

  Durante o período de amamentação, a cada 7 dias (em geral) até a desmama.

RECOMENDAÇÃO: Tirar o alimento no dia anterior ao da pesagem e separar os leitões da mãe por uma ou duas horas. A variável resposta deve ser obtida limpa de erros de medida, medindo aquilo que foi convertido em massa e não aquilo que foi consumido. Existe uma fraude conhecida na venda de suínos/bois /frangos/galinhas em que o vendedor enche o estômago/papo dos animais de milho/água e em seguida os vende. Isso não pode ocorrer em pesquisa!
Após a desmama, pesar em intervalos de 14 dias (em geral); ou em outros intervalos segundo o interesse da pesquisa.

- PERÍODO EXPERIMENTAL

Usar o tempo necessário para o tratamento mostrar o seu efeito. Em caso de dúvida, uma boa revisão de literatura pode ajudar muito.

3. MODELO MATEMÁTICO

$$y_{ijk} = \mu + l_j + c_k + t_i + e_{ijk}$$

$i = 1,2,...,I$
$j = 1,2,...,J$
$\mathrm{k} = 1,2,...,\mathrm{K}$
$I = J = K$

em que:
y_{ijk} : valor da parcela que receber o tratamento *i* na linha *j* e coluna *k*

μ : média geral, sem efeito de tratamento, linha e coluna.

l_j : efeito da linha *j* (1ª. variável de controle).

c_k : efeito da coluna *k* (2ª. variável de controle).

t_i : efeito do tratamento *i*.

e_{ijk} : efeito dos fatores não controlados da parcela que receber o tratamento *i*, na linha *j* e coluna *k*.

- Hipóteses do Modelo

a) Aditividade

Não pode haver interação entre as variáveis de controle e tratamento. Assume-se que não haja interação entre Linha × Tratamento ou Coluna × Tratamento. Um gráfico de dispersão dos resíduos das variáveis de controle × Tratamentos, ajuda a verificar problemas de falta de aditividade do modelo.

b) Homogeneidade de Variâncias.
c) Normalidade e Independência de erros ($e_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$ e mutuamente independentes).

Obs.:

- Os Q.L. com 5 a 8 tratamentos são os mais usados.
- Os Q.L. com 2 tratamentos não são usados isoladamente pois o resíduo fica com zero (0) g.l.
- Os Q.L. com 3 e 4 tratamentos são usados, desde que repetidos várias vezes e depois analisados conjuntamente.

4. Obtenção da ANVA

Quadro 1. Valores observados no ensaio D.Q.L.

	Colunas (k)						
Linha (j)	1	2	...	k	...	K	Totais
1	y_{311}^{C}	y_{112}^{A}		y_{41k}^{D}		y_{21K}^{B}	L_1
2	y_{221}^{B}	y_{322}^{C}	...	y_{12k}^{A}	...	y_{42K}^{D}	L_2
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
j	y_{4j1}^{D}	y_{2j2}^{B}	...	y_{3jk}^{C}	...	y_{1jK}^{A}	L_j
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
J	y_{1J1}^{A}	y_{4J2}^{D}	...	y_{2Jk}^{B}	...	y_{3JK}^{C}	L_J
Totais	C_1	C_2	...	C_k	...	C_K	G

Correção:

$$\boxed{C = \frac{G^2}{JK}}$$

$$\boxed{\text{S.Q. Total} = \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} y_{ijk}^2 - C}$$

(IK – 1)gl ou (IJ-1)gl (KJ-1)gl

$$\boxed{\text{S.Q. Linhas} = \frac{1}{K}\sum_{j=1}^{J} L_j^2 - C}$$ (J – 1)gl

$$\boxed{\text{S.Q.Colunas} = \frac{1}{J}\sum_{k=1}^{K} C_k^2 - C}$$ (K – 1)gl

Obter T_1 T_2 ... T_I → Totais de tratamentos

$$\boxed{\text{S.Q. Tratamentos} = \frac{1}{J}\sum_{i=1}^{I} T_i^2 - C}$$ (I – 1)gl

$$\boxed{\text{S.Q. Resíduo} = \text{S.Q. Total} - \text{S.Q.L} - \text{S.Q.C} - \text{S.Q. Tratamentos}}$$

Gl do Resíduo=I^2-1 – (I-1) – (I-1) – (I-1)

Quadro 2 – ANVA

Fonte de Variação	**G.L.**	**S.Q.**	**Q.M.**
Tratamentos	(I – 1)	S.Q. Trat.	S.Q. Trat. / (I – 1)
Linhas	(J – 1) = (I – 1)	S.Q. Linhas	S.Q. Linhas / (I – 1)
Colunas	(K – 1) = (I – 1)	S.Q. Colunas	S.Q. Colunas / (I – 1)
Resíduo	(I – 1) (I – 2) por dif.	S.Q. Resíduo	S.Q. Res. / (I – 1) (I – 2)
Total	(IK – 1) = (I^2 – 1)	S.Q. Total	

5. Exemplo: Em um ensaio de alimentação de suínos usou-se um quadrado latino de 4 × 4, com os seguintes resultados, referentes aos ganhos de peso, em kg, ao fim de 252 dias, em que os tratamentos foram:

A – Castração aos 56 dias de idade.
B – Animais inteiros.
C – Castração aos 7 dias de idade.
D – Castração aos 21 dias de idade.
As colunas tinham como objetivo controlar a variação de peso dos leitões dentro de cada leitegada.

Linhas	Colunas				Totais
	1ª.	2ª.	3ª.	4ª.	
Leitegada 1	93,0 (A)	108,6 (B)	108,9 (C)	102,0 (D)	412,5
Leitegada 2	115,4 (B)	96,5 (D)	77,9 (A)	100,2 (C)	390,0
Leitegada 3	102,1 (C)	94,9 (A)	116,9 (D)	96,0 (B)	409,9
Leitegada 4	117,6 (D)	114,1 (C)	118,7 (B)	97,6 (A)	448,0
Totais	428,1	414,1	422,4	395,8	1.660,4

$T_A = 363,4$
$T_B = 438,7$
$T_C = 425,3$
$T_D = 433,0$

$$C = \frac{(1.660,4)^2}{16} = 172.308,01$$

S.Q. Total = $(93,0)^2 + (115,4)^2 + ... + (97,6)^2 - C$

= 174.220,08 – C

= 1.912,07

S.Q. Colunas = $\frac{1}{4}\left(428,1^2 + ... + 395,8^2\right) - C$

= 172.456,955 – C

= 148,945

S.Q. Linhas = $\frac{1}{4}\left(412,5^2 + ... + 448,0^2\right) - C$

= 172.744,565 – C

= 436,555

S.Q. Tratam. = $\frac{1}{4}\left(363,4^2 + ... + 433,0^2\right) - C$

$= 173.221{,}585 - C$

$= 913{,}575$

S.Q. Resíduo = 412,995

Quadro 3. ANVA

Fonte de variação	**G.L.**	**S.Q.**	**Q.M.**	**F**
Tratamentos	3	913,575	304,525	$4{,}42^{ns}$
Linhas	3	436,555	145,5183	$2{,}11^{ns}$
Colunas	3	148,945	49,6483	$0{,}72^{ns}$
Resíduo	6	412,995	68,8325	
Total	15	1.912,070		

$$F_{(3,\ 6,\ 0{,}05)} = 4{,}76$$

Teste de Tukey:

$$\Delta = q\sqrt{\frac{Q.M.\text{Res.}}{I}} \qquad q_{(4;\ 6;\ 0{,}05)} = 4{,}90$$

$$\Delta = 4{,}90\sqrt{\frac{68{,}8325}{4}} = 20{,}3265$$

$\hat{\mu}_B = 109{,}675\ \ a$ $\qquad \hat{Y}_1 = \hat{\mu}_B - \hat{\mu}_A = 18{,}825^{ns}$

$\hat{\mu}_D = 108{,}25\ \ a$

$\hat{\mu}_C = 106{,}325\ \ a$

$\hat{\mu}_A = 90{,}85\ \ a$

EXERCÍCIO: a) Desdobre a soma de quadrados de tratamentos dos dados do exemplo anterior, por contrastes ortogonais, sabendo que os pesquisadores desejam comparar a média dos "animais inteiros" versus a média dos "animais castrados" e entre os castrados.
b) Aplique os testes de Duncan e LSD (α=0,05) e compare com os resultados obtidos também com aqueles obtidos por Tukey.

Obs.: Se $j \neq k \neq I$, temos os delineamentos Linhas-Colunas, em que o modelo e análise são os descritos aqui com as pequenas diferenças incorporadas.

ESQUEMAS FATORIAIS 2^2 e 3^2 (N^F)

UTILIZADOS

Quando vários fatores são estudados simultaneamente para que possam nos conduzir a resultados de interesse.

DELINEAMENTOS USADOS – D.I.A., D.A.B., D.Q.L. e D.P.S.

NÍVEL DO FATOR – cada subdivisão de um fator. Ex. ADUBAÇÃO ESPAÇAMENTO
0 15 20 25 30kg/ha 0,20 0,25 0,30cm

TRATAMENTOS – São todas as combinações possíveis entre os diversos fatores nos seus diferentes níveis.
Ex. Coquetel-mistura de substâncias (medicamentos)

Ex.$_1$: Combinar 2 variedades de capim Napier, com 3 herbicidas.

$\therefore$ Fatorial 2×3

Fatores: Variedade (V)
Herbicida (H)

Níveis: V_1 e V_2 (2 níveis)
H_1, H_2 e H_3 (3 níveis)

Tratamentos: $2 \times 3 = 6$ tratamentos

$V_1 H_1$	$V_1 H_2$	$V_1 H_3$
$V_2 H_1$	$V_2 H_2$	$V_2 H_3$

Ex.$_2$: Medir os efeitos de proteína (2 níveis), vitamina (2 níveis) e antibiótico (2 níveis) sobre o ganho de pesos de suínos da raça Landrace.

$\therefore$ Fatorial $2 \times 2 \times 2 = 2^3 \Leftrightarrow N^F$

Fatores: PROTEÍNA, VITAMINA e ANTIBIÓTICO.

Níveis: P_1, P_2
V_1, V_2
A_1, A_2
Tratamentos: $2^3 = 8$ Tratamentos.

$P_1 V_1 A_1$
$P_1 V_1 A_2$
$P_1 V_2 A_1$
$P_1 V_2 A_2$
$P_2 V_1 A_1$
$P_2 V_1 A_2$
$P_2 V_2 A_1$
$P_2 V_2 A_2$

VANTAGEM – Permitem tirar conclusões mais amplas, comparativamente à situação de um único fator (além dos efeitos simples, principais, permitem estudar os efeitos das interações).

ESTUDO DOS FATORIAIS 2^2

Vamos considerar um fatorial 2^2

Antibiótico: A_0 – sem antibiótico
A_1 – com antibiótico
Vermífugo: V_0 – sem vermífugo
V_1 – com vermífugo

As produções foram (kg) para os 4 tratamentos

A_0V_0: sem antibiótico, sem vermífugo = 14
A_0V_1: sem antibiótico, com vermífugo = 23
A_1V_0: com antibiótico, sem vermífugo = 32
A_1V_1: com antibiótico, com vermífugo = 53

Cada observação no quadro é proveniente de 4 repetições.

(4) Quadro auxiliar

	V_0	V_1	Totais
A_0	14	23	37
A_1	32	53	85
Totais	46	76	122

a) Efeito Simples de um Fator

- é uma medida da variação que ocorre com a característica em estudo (produção, por exemplo) correspondente às variações nos níveis desse fator, em cada um dos níveis de outro fator.

Obs.: A amplitude é uma medida de variação.

Então:

- Efeito simples de antibiótico na ausência de vermífugo

$$Ad \cdot V_0 = A_1V_0 - A_0V_0 = 32 - 14 = 18 \text{ kg}$$

- Efeito simples de antibiótico na presença de vermífugo

$$Ad \cdot V_1 = A_1V_1 - A_0V_1 = 53 - 23 = 30 \text{ kg}$$

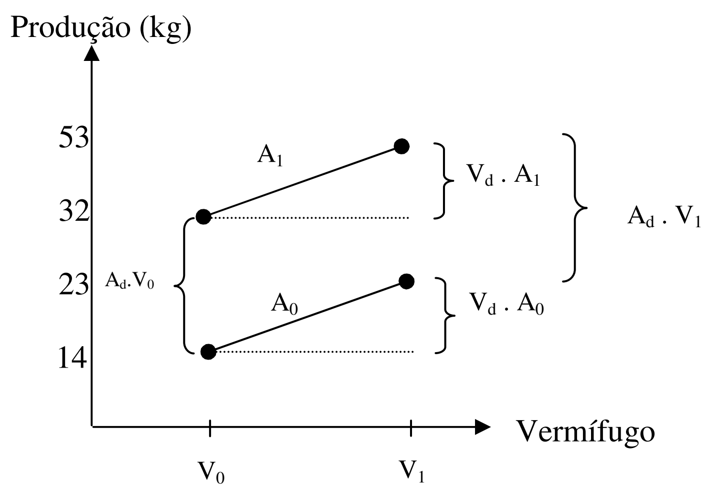
- Efeito simples de vermífugo na ausência de antibiótico

$$Vd \cdot A_0 = A_0V_1 - A_0V_0 = 23 - 14 = 9 \text{ kg}$$

- Efeito simples de vermífugo na presença de antibiótico

$$Vd \cdot A_1 = A_1V_1 - A_1V_0 = 53 - 32 = 21 \text{ kg}$$

Graficamente:



b) Efeito principal de um fator:

- é uma medida da variação que ocorre com a característica em estudo (produção, por exemplo) correspondente às variações nos níveis desse fator, em média de todos os níveis do outro fator.
  $\therefore$ é média dos efeitos simples desse fator.

- Efeito principal de $A = \dfrac{Ad \cdot V_0 + Ad \cdot V_1}{2} = \dfrac{18 + 30}{2} = 24 \text{ kg}$

- Efeito principal de $V = \dfrac{Vd \cdot A_0 + Vd \cdot A_1}{2} = \dfrac{9+21}{2} = 15\ \text{kg}$

OUTRA FORMA:

- Efeito principal de $A = \dfrac{Ad \cdot V_0 + Ad \cdot V_1}{2}$

$$= \frac{A_1V_0 - A_0V_0 + A_1V_1 - A_0V_1}{2}$$

$$= \frac{(\mathrm{A_1V_0 + A_1V_1}) - (\mathrm{A_0V_0 + A_0V_1})}{2}$$

$$= \frac{A_1 - A_0}{2} = \frac{85-37}{2} = 24\,\text{kg}$$ (Diferença entre os totais marginais)

- Efeito principal de $V = \dfrac{V_1 - V_0}{2} = \dfrac{76-46}{2} = 15\,\text{kg}$

c) Efeito da interação entre 2 fatores

- é uma medida da variação que ocorre com a característica em estudo, correspondente às variações nos níveis de um fator, ao passar de um nível a outro do outro fator.

Efeito da interação $A \times V = \dfrac{Ad \cdot V_1 - Ad \cdot V_0}{2} = \dfrac{30-18}{2} = 6\,\text{kg}$

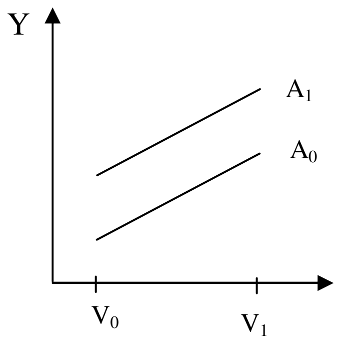
Efeito da interação $V \times A = \dfrac{Vd \cdot A_1 - Vd \cdot A_0}{2} = \dfrac{21-9}{2} = 6\,\text{kg}$

Obs.: Enquanto que o efeito principal de um fator é a semi-soma (média) dos efeitos simples, o efeito principal de interação é a semi-diferença dos efeitos simples, para o caso de dois fatores.

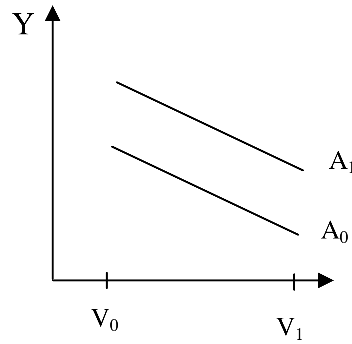
Percebe-se que o efeito da interação é invariante em relação à ordem dos fatores expressos. Assim, o efeito da interação A×B×C, é o mesmo que o da interação A×C×B, que é o mesmo efeito da interação B×A×C, que é o mesmo da interação B×C×A, que é o mesmo da interação C×A×B, que é o mesmo que o da interação C×B×A.

Graficamente tem-se:

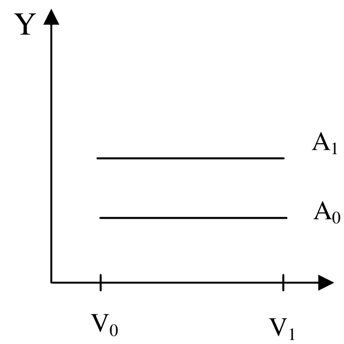
a)



b)



c)



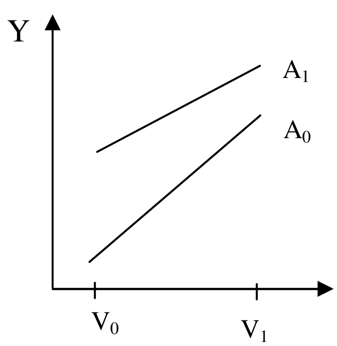
Não há interação, mas há efeito de escala

Não há interação, nem há efeito de escala

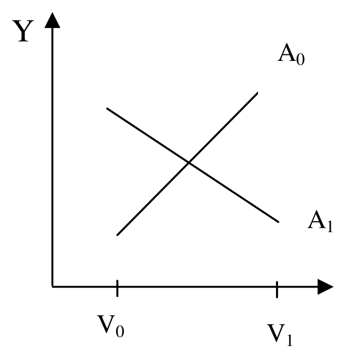
Note que a interação é $\dfrac{A\,d.V_1 - A\,d.V_0}{2}$, e nesse caso o numerador é nulo.

Quando há paralelismo, não há interação.

d)



e)



Interação devida à diferença na grandeza da resposta

Interação devida à diferença na direção da resposta

Interação positiva – ocorre devido a um sinergismo entre os fatores.

Interação negativa – ocorre devido a um antagonismo entre os fatores.

Análise e Interpretação de um Ensaio Fatorial 2^2

Ensaios contínuos com suínos em crescimento
Fatores de variação:

- Raça ou grau de sangue
- Sexo
- Idade
- Peso inicial
- Filiação

- PARCELA

  Um só animal.
  Dependendo das instalações e dos objetivos, dois ou mais.

- PREPARO PRÉ-EXPERIMENTAL

Importante para acostumar os animais ao experimento e permitir conhecer melhor as fontes de variabilidades presentes no material experimental. Recomenda-se usar os animais 15 a 20 dias após a desmama. Útil para acostumar o leitão ao regime de farelada e executar as práticas criatórias essenciais.

- PESAGEM

Realizá-la em períodos regulares segundo o interesse do pesquisador. (semanalmente ou quinzenalmente, etc.).

- MODELO MATEMÁTICO DE UMA ESTRUTURA FATORIAL COM 2 FATORES A e B EM UM D.I.A.

$$\boxed{y_{ijk} = \mu + a_i + b_j + (ab)_{ij} + e_{ijk}}$$

$i = 1, 2, ..., I$
$j = 1, 2, ..., J$
$k = 1, 2, \ldots, K$

y_{ijk} : valor da parcela que recebeu o nível i do fator A e o nível j do fator B na repetição k.

μ : média geral

a_i : efeito do nível i de A

b_j : efeito do nível j de B

$(ab)_{ij}$: efeito da interação dos fatores A e B

e_{ijk} : efeito dos fatores não controlados que recebeu a combinação de tratamento, envolvendo o nível i de A e o nível j de B na repetição k.