

Experimentos Multifatores

Anderson Rodrigo da Silva

Instituto Federal Goiano

- 1 Exemplos de aplicação
- 2 Experimentos multifatores
 - Experimentos fatoriais
 - Parcelas subdivididas
 - Modelo hierárquico
 - Análise de grupos de experimentos
- 3 Referências

Exemplo 1

Descrição do experimento:

- Fator 1: variedades de cana (A, B, C)
- Fator 2: doses de vinhaça (0, 500, 1000, 1500 L/ha)
- Delineamento: blocos aleatorizados, 4 repetições
- Resposta: produtividade (t/ha)

Os fatores afetam significativamente a produtividade?

Existe interação entre os dois fatores?

Exemplo 1

Variedade	Dose de vinhaça	Bloco		
		I	II	III
A	0	69	66	68
	500	72	70	71
	1000	70	73	71
	1500	66	64	67
B	0	65	67	64
	500	69	73	73
	1000	73	74	75
	1500	70	68	68
C	0	71	73	70
	500	76	79	77
	1000	77	79	76
	1500	74	75	76

Exemplo 2

Um pesquisador instalou um experimento para estudar o controle químico pós-emergencial de gramíneas na cultura do gergelim, de acordo com a descrição:

- Fator 1: época de aplicação (15, 30 e 45 dias após emergência)
- Fator 2: doses (1,5 e 2,0 L/ha de *Targa 50 EC*)
- Delineamento: blocos casualizados, 4 repetições
- Resposta: produtividade (kg/ha)
- Foram deixadas parcelas sem nenhum tipo de controle, as quais compõem um tratamento adicional

Os fatores afetam significativamente a resposta?

Há interação entre os fatores?

Há efeito significativo do controle químico?

Exemplo 2

Época	Dose	Bloco			
		I	II	III	IV
15	1,5	87.7	108.55	132.34	199.24
	2,0	98.84	212.13	217.47	117.75
30	1,5	130.69	149.82	294.07	49.54
	2,0	43.6	91.79	325.01	175.51
45	1,5	27.59	48.42	191.6	150.5
	2,0	81.41	130.6	313.58	198.3
Controle	–	25.25	75.05	43.38	146.45

Exemplo 3

Descrição do experimento:

- Fator 1: sistemas de preparo do solo (preparo reduzido e plantio direto)
- Fator 2: cultivares de milho (A, B, C, D e E)
- Delineamento: blocos aleatorizados, 4 repetições
- Resposta: rendimento de grãos (t/ha)

Os fatores afetam significativamente o rendimento de grãos?

Existe interação entre os fatores?

Exemplo 3

Sistema	Cultivar	Bloco			
		I	II	III	IV
PD	A	4.4	4.1	5.5	5.0
	B	5.0	5.1	6.3	6.0
	C	6.4	5.1	6.2	4.9
	D	5.0	4.9	6.0	5.4
	E	6.2	4.9	6.3	6.0
PR	A	6.0	5.9	6.3	6.8
	B	6.2	6.5	6.0	7.1
	C	6.5	7.5	6.6	6.0
	D	8.3	7.4	8.1	7.2
	E	6.3	6.0	8.1	6.6

Exemplo 4

Um pesquisador desenvolveu um experimento para avaliar a seletividade de herbicidas pré-emergentes na cultura do feijão adzuki. Para isso instalou-se um experimento em casa de vegetação, da seguinte forma:

- Fator 1: herbicidas: Clomazone (300 e 600 g i.a.), Metribuzin (240 e 480 g i.a.), Diclosulam (17,5 e 30 g i.a.)
- Fator 2: doses (D1 e D2, diferindo para cada herbicida)
- Delineamento: inteiramente casualizado, 4 repetições
- Resposta: matéria seca de plantas de feijão adzuki aos 56 dias após semeadura

Os fatores afetam significativamente a resposta?

Exemplo 4

Produto	Dose (g i.a.)	Repetição			
		I	II	III	IV
Clomazone	300	20.5	39.8	30	19
	600	39.6	23.2	23.8	13.7
Metribuzin	240	14.7	40.9	29.3	18.5
	480	20.9	27.2	39.7	24
Diclosulam	17.5	20.5	20.5	20.5	20.5
	30	20.5	20.5	20.5	20.5

Exemplo 5

Descrição do experimento:

- Fator 1: locais (Ipameri e Urutaí)
- Fator 2: doses de ácido bórico (0, 1, 2, 3 e 4 kg/ha)
- Delineamento: blocos casualizados, 4 repetições
- Resposta: teor de boro foliar (mg/kg matéria seca)

Os fatores afetam significativamente a resposta?

Há interação entre os fatores?

Exemplo 5

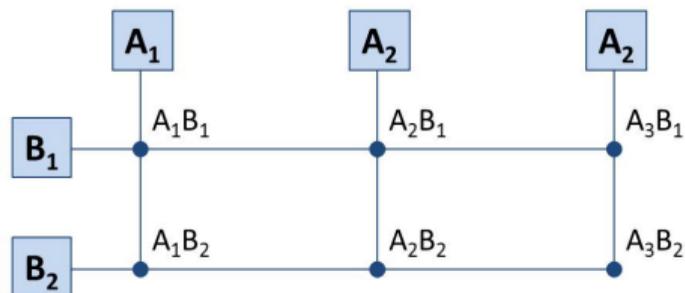
Local	Dose	Bloco			
		I	II	III	IV
Ipameri	0	35.9	41.5	32.8	36.5
	1	39.7	41.5	43.8	41.8
	2	43	39.8	44.9	47.8
	3	48.9	52.9	55.1	59.8
	4	52.8	56.8	59.8	60.1
Urutaí	0	39.7	35.8	39.7	37.1
	1	38.4	38.9	43.1	40.3
	2	40.1	41.9	38.5	40.9
	3	46.9	42.1	43.2	44.1
	4	48.9	50.1	52.3	49.6

Experimentos multifatores

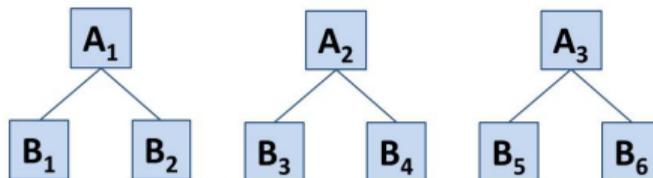
- Permitem estudar, simultaneamente, dois ou mais fatores
- Permitem estudar a interação entre fatores
- Há dois tipos de estrutura ou relacionamento entre fatores: *cruzada* e *hierárquica* ou *aninhada*

Estruturas dos fatores

Fatores cruzados



Fatores hierárquicos



Fatores cruzados

Permitem estudar dois tipos de efeito:

- Efeito principal

Fatores cruzados

Principais esquemas experimentais com estrutura cruzada:

- Experimentos fatoriais
- Experimentos em parcelas subdivididas
- Análise de grupos de experimentos

Experimentos fatoriais

- É um delineamento experimental?

Experimentos fatoriais

- É um delineamento experimental? **não! é um esquema experimental**

Experimentos fatoriais

- É um delineamento experimental? **não! é um esquema experimental**
- Podem ser instalados sob a maioria dos delineamentos experimentais, como DIC, DBC e DQL.

Experimentos fatoriais

- É um delineamento experimental? **não! é um esquema experimental**
- Podem ser instalados sob a maioria dos delineamentos experimentais, como DIC, DBC e DQL.
- Permite estudar, simultaneamente, dois ou mais fatores (experimento multifator).

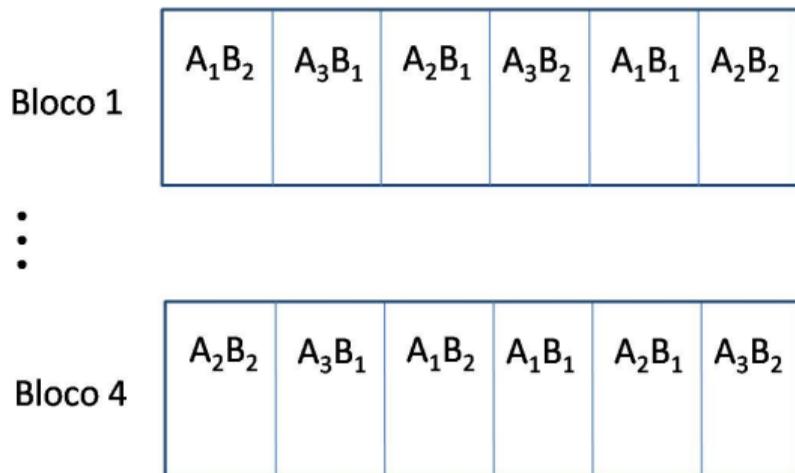
Experimentos fatoriais

- É um delineamento experimental? **não! é um esquema experimental**
- Podem ser instalados sob a maioria dos delineamentos experimentais, como DIC, DBC e DQL.
- Permite estudar, simultaneamente, dois ou mais fatores (experimento multifator).

A aleatorização

As parcelas ou unidades experimentais recebem as combinações dos fatores, sendo estas aleatorizadas conforme o delineamento escolhido.

Exemplo: considere os fatores A com 3 níveis e B com 2 níveis, estudados em esquema fatorial 3×2 no delineamento de blocos aleatorizados, com 4 blocos. O croqui do experimento poderia ser:



Modelo estatístico

O modelo de ANOVA para um experimento fatorial (com 2 fatores) instalado em blocos aleatorizados é:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \gamma_k + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

em que:

μ é a média populacional da variável resposta Y

α_i é o efeito principal do i -ésimo nível do fator A

γ_k é o efeito do k -ésimo bloco

β_j é o efeito principal do j -ésimo nível do fator B

$(\alpha\beta)_{ij}$ é o efeito da interação entre o i -ésimo nível de A e o j -ésimo nível de B

ϵ_{ijk} é o erro associado à observação Y_{ijk}

Estudo ou desdobramento da interação

- Caso 1: estudo dos níveis do fator A em cada nível de B
- Caso 2: estudo dos níveis do fator B em cada nível de A

Prós e Contras

Prós

- Permite estudar dois ou mais fatores simultaneamente
- Permite estudar os efeitos isolados dos fatores e da(s) interação(ões)
- Os testes são realizados com maior precisão ($>$ GLres) que em experimentos individuais

Contras

- O n° de tratamentos aumenta rapidamente, o que pode significar perda de eficiência de delineamentos simples
- Análise estatística mais trabalhosa

Parcelas subdivididas (*split plot*)

- É um delineamento experimental?

Parcelas subdivididas (*split plot*)

- É um delineamento experimental? **não! é um esquema experimental**

Parcelas subdivididas (*split plot*)

- É um delineamento experimental? **não! é um esquema experimental**
- Podem ser instalados sob a maioria dos delineamentos experimentais, como DIC, DBC e DQL.

Parcelas subdivididas (*split plot*)

- É um delineamento experimental? **não! é um esquema experimental**
- Podem ser instalados sob a maioria dos delineamentos experimentais, como DIC, DBC e DQL.
- Permite estudar, simultaneamente, dois ou mais fatores (experimento multifator).

Parcelas subdivididas (*split plot*)

- É um delineamento experimental? **não! é um esquema experimental**
- Podem ser instalados sob a maioria dos delineamentos experimentais, como DIC, DBC e DQL.
- Permite estudar, simultaneamente, dois ou mais fatores (experimento multifator).
- Diferem dos experimentos fatoriais na forma de aleatorização.

A aleatorização

As parcelas ou unidades experimentais são divididas, no espaço ou no tempo, formando subparcelas e, portanto, a aleatorização ocorre em dois estágios:

- 1 Fator primário: seus níveis são designados às parcelas de acordo com o delineamento adotado
- 2 Fator secundário: seus níveis são designados às subparcelas sem restrição na aleatorização

Split plot vs. Fatorial

Considerando o exemplo anterior, se os mesmos fatores fossem estudados em esquema fatorial os blocos teriam não 3, mas 12 parcelas cada!

Inclusão tardia de um fator

- Considere instalar um experimento em DBC para estudar o efeito de cinco lâminas de irrigação, digamos 0, 5, 10, 15 e 20 mm, na cultura do milho.
- Após a instalação do experimento o pesquisador percebe que é preciso estudar também o fator cultivar, digamos A e B, juntamente com a irrigação.

Seria possível incluir no experimento o fator cultivar e ainda verificar como eles respondem às lâminas de água?

Peculiaridades da análise

Em relação à experimentos mais simples, temos algumas modificações em relação a forma usual de análise de variância:

- Surgimento de dois erros ou resíduos experimentais: “resíduo a” e “resíduo b”.

Peculiaridades da análise

Em relação à experimentos mais simples, temos algumas modificações em relação a forma usual de análise de variância:

- Surgimento de dois erros ou resíduos experimentais: “resíduo a” e “resíduo b”.
- Esse fato implica em duas precisões diferentes, dois coeficientes de variação (CV) experimentais.

Peculiaridades da análise

Em relação à experimentos mais simples, temos algumas modificações em relação a forma usual de análise de variância:

- Surgimento de dois erros ou resíduos experimentais: “resíduo a” e “resíduo b”.
- Esse fato implica em duas precisões diferentes, dois coeficientes de variação (CV) experimentais.
- No desdobramento da interação, bem como na aplicação de testes de médias.

Modelo estatístico

O modelo de ANOVA para um experimento em parcelas subdivididas (com 2 fatores) instalado em blocos aleatorizados é:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \gamma_k + e_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

em que:

μ é a média populacional da variável resposta Y

α_i é o efeito principal do i -ésimo nível do fator primário A

γ_k é o efeito do k -ésimo bloco

e_{ik} é o erro associado à parcela que contém o i -ésimo nível do fator primário no k -ésimo bloco

β_j é o efeito principal do j -ésimo fator secundário B

$(\alpha\beta)_{ij}$ é o efeito da interação entre o i -ésimo nível de A e o j -ésimo nível de B

ϵ_{ijk} é o erro associado à observação Y_{ijk} , a nível de subparcela

Interação não significativa

- Caso 1: estudo dos níveis do fator primário - utilizar QM do "Resíduo a"
- Caso 2: estudo dos níveis do fator secundário - utilizar QM do "Resíduo b"

Interação significativa

- Caso 1: estudo dos níveis do fator secundário em cada nível do primário - utilizar QM do "Resíduo b"
- Caso 2: estudo dos níveis do fator primário em cada nível do secundário - utilizar QM do "Resíduo Combinado" e GL do "Resíduo Combinado":

$$QMRes.(a, b) = \frac{QMRes.a + (J - 1)QMRes.b}{J}$$

$$GLRes.(a, b) = \frac{[QMRes.a + (J - 1)QMRes.b]^2}{\frac{[QMRes.a]^2}{GLRes.a} + \frac{[(J-1)QMRes.b]^2}{GLRes.b}}$$

em que $GLRes.a \leq GLRes.(a, b) \leq GLRes.a + GLRes.b$

Critérios de utilização

De modo geral, deve-se preferir o esquema de parcelas subdivididas quando:

- Um dos fatores requer maior quantidade de material experimental que ou outro.

Critérios de utilização

De modo geral, deve-se preferir o esquema de parcelas subdivididas quando:

- Um dos fatores requer maior quantidade de material experimental que ou outro.
- Uma parcela pode receber dois ou mais níveis de um fator secundário.

Critérios de utilização

De modo geral, deve-se preferir o esquema de parcelas subdivididas quando:

- Um dos fatores requer maior quantidade de material experimental que ou outro.
- Uma parcela pode receber dois ou mais níveis de um fator secundário.
- Houver a possibilidade de incluir um fator após a instalação do experimento.

Critérios de utilização

De modo geral, deve-se preferir o esquema de parcelas subdivididas quando:

- Um dos fatores requer maior quantidade de material experimental que o outro.
- Uma parcela pode receber dois ou mais níveis de um fator secundário.
- Houver a possibilidade de incluir um fator após a instalação do experimento.
- Os níveis de um fator devem ser comparados com maior precisão que os níveis do outro fator, sendo os primeiros designados às subparcelas.

Modelo hierárquico



Análise de grupos de experimentos



Referências

- 1 BARBIN, D. Planejamento e análise estatística de experimentos agrônomicos, Piracicaba: FEALQ, 2004.
- 2 CAMPOS, H. Estatística aplicada à cana-de-açúcar. Piracicaba: FEALQ, 1984. 292p.
- 3 CECON, P. R. ; RÊGO, E.R. ; SILVA, A. R. ; RÊGO, M. M. . Estatística e Experimentação. 1 ed. João Pessoa: Gráfica São Mateus, 2013. 130p.
- 4 COCHRAN, W.G. E COX, G.M., 1957. Experimental designs. 2ª. Edição. Nova York, Wiley, 611p.
- 5 DAGNELIE, P. Principles dexperimentation. Les Presses Agronomiques de Gembloux. Bélgica, 1981.
- 6 KRONKA, S.N.; BANZATTO, D.A. Experimentação Agrícola. Jaboticabal: FUNESP/UNESP, 1989. 247p.
- 7 MONTGOMERY, D.C. Design and analysis of experiments. 5a ed. Nova York: John Wiley and Sons, 2001. 684p.
- 8 PIMENTEL-GOMES, F. Curso de Estatística Experimental, 15ª. Edição, Piracicaba, SP, 2009. 451p.
- 9 VIEIRA, S. HOFFMANN, R. Estatística Experimental. 2ª. Ed. Atlas, São Paulo, 1999. 185p.