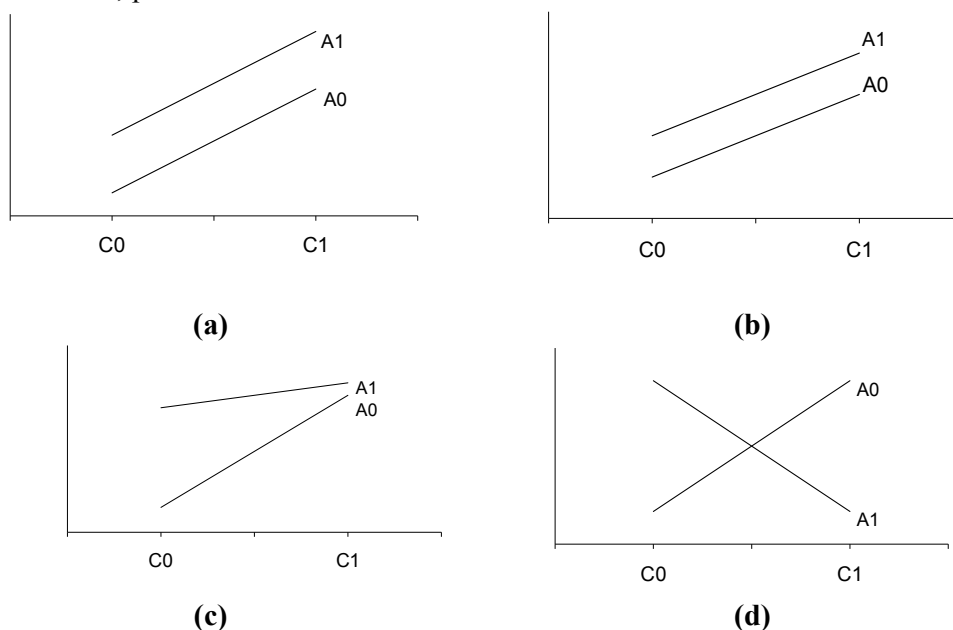


3) EXPERIMENTOS FATORIAIS

Os experimentos fatoriais não constituem um delineamento experimental, e sim um esquema orientado de desdobramento de graus de liberdade de tratamentos e podem ser instalados em qualquer dos delineamentos experimentais.

Vamos considerar um fatorial 2x2, com os fatores: Adubação (A) e Calcário (C), nos níveis: Adubação: A_0 = sem adubo ; A_1 = com adubo
Calcário: C_0 = sem calcário ; C_1 = com calcário

Graficamente, podemos considerar:



Nos casos (a) e (b) não há interação.

No caso (c) existe uma interação devida à diferença na grandeza de resposta.

No caso (d) existe uma interação devida à diferença na direção da resposta.

Casualização dos tratamentos

Um experimento fatorial 2x3, com 2 níveis de Calagem (C_0 e C_1) e 3 níveis de Adubação (A_1 , A_2 , e A_3) poderia ter a seguinte casualização, se fosse instalado em blocos ao acaso:

1º Bloco	2º Bloco	2º Bloco	4º Bloco
C_1A_1	C_1A_3	C_0A_2	C_0A_1
C_0A_2	C_1A_2	C_1A_2	C_0A_3
C_1A_2	C_0A_1	C_0A_3	C_1A_2
C_1A_3	C_1A_1	C_1A_1	C_1A_1
C_0A_1	C_0A_3	C_1A_3	C_0A_2
C_0A_3	C_0A_2	C_0A_1	C_1A_3

Esquema da análise de variância preliminar

Causa da variação	G.L.
Tratamentos	5
Blocos	3
Resíduo	15
Total	23

Os graus de liberdade de tratamentos devem ser desdobrados de acordo com o esquema fatorial 2x3, ficando:

Tratamentos →	5 g.l. →	Calagens (C)	}	1 g.l.
		Adubações (A)		2 g.l.
		Interação CxA		2 g.l.

Esquema de análise de variância com desdobramento dos graus de liberdade de tratamentos, de acordo com o esquema fatorial 2x3:

Causa da variação	G.L.
Calagens (C)	1
Adubações (A)	2
Interação CxA	
Tratamentos	5
Blocos	3
Resíduo	15
Total	23

3.2 Análise e interpretação de um experimento fatorial com dois fatores

3.2.1 Com interação não significativa

Exemplo: Vamos considerar os dados de um experimento, em blocos casualizados, no esquema fatorial 3x3, em que foram estudados os efeitos de 3 peneiras comerciais, associadas a 3 densidades de plantio, na produtividade do amendoim (*Arachis hipogaea* L.) variedade Tatu V53.

As peneiras comerciais (P) e as Densidades de plantio (D) estudadas foram:

P₁ = peneira 18 (crivos circulares com Ø de 18/64 polegada)

P₂ = peneira 20 (crivos circulares com Ø de 20/64 polegada)

P₃ = peneira 22 (crivos circulares com Ø de 22/64 polegada)

D₁ = 10 plantas por metro linear

D₂ = 15 plantas por metro linear

D₃ = 20 plantas por metro linear

O ensaio constou de 3 blocos, num total de 27 parcelas, cada uma com 4 linhas de 7 metros de comprimento, espaçadas de 0,50 m, com uma área de 14 m² por parcela. As duas linhas externas de cada parcela, e 1 m de cada rua, foram consideradas como bordadura, fazendo-se as avaliações apenas nas duas linhas centrais, o que resultou numa área útil de 6 m² por parcela.

Uma das características estudadas foi a produção média de amendoim em vagem, por planta, cujos dados, em gramas, são apresentados abaixo:

Tratamentos	Blocos			Totais
	1	2	3	
1 – P ₁ D ₁	11,82	12,03	12,55	36,40
2 – P ₁ D ₂	12,34	14,08	12,13	38,55
3 – P ₁ D ₃	13,41	12,98	13,35	39,74
4 – P ₂ D ₁	6,97	10,26	9,02	26,25
5 – P ₂ D ₂	8,96	9,02	9,84	27,82
6 – P ₂ D ₃	8,48	9,66	8,50	26,64
7 – P ₃ D ₁	7,53	7,67	7,81	23,01
8 – P ₃ D ₂	6,71	7,87	9,49	24,07
9 – P ₃ D ₃	7,82	9,44	9,37	26,63
Totais	84,04	93,01	92,06	269,11

Inicialmente, devemos proceder a análise de variância preliminar, que é a análise comum de um experimento em blocos casualizados, com 9 tratamentos e 3 blocos:

$$C = \frac{G^2}{IJ} = \frac{269,11^2}{9 \cdot 3} = 2.682,2293$$

$$SQ_{\text{total}} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J x_{ij}^2 - C = 11,82^2 + 12,03^2 + \dots + 9,37^2 - C = 126,6588$$

$$SQ_{\text{Tratamento}} = \frac{1}{J} \sum_{i=1}^I T_i^2 - C = \frac{1}{3} (36,40^2 + 38,55^2 + \dots + 26,63^2) - C = 111,4428$$

$$SQ_{\text{Bloco}} = \frac{1}{I} \sum_{j=1}^J B_j^2 - C = \frac{1}{9} (84,04^2 + 93,01^2 + 92,06^2) - C = 5,3957$$

A análise de variância preliminar é apresentada a seguir:

Causa da variação	G.L.	SQ	QM	F
Tratamentos	8	111,4428	13,9304	22,70**
Blocos	2	5,3957	2,6979	4,40*
Resíduo	16	9,8203	0,6138	-
Total	26	126,6588	-	-

Para tratamentos, verificamos que o teste é significativo ($P < 0,01$), indicando que os tratamentos apresentam efeitos diferentes sobre a produção média de amendoim em vagem, por planta.

Devemos proceder ao desdobramento dos 8 graus de liberdade de tratamentos, organizando um quadro auxiliar, relacionando os níveis dos 2 fatores:

(3)	D₁	D₂	D₃	Totais de P
P₁	36,40	38,55	39,74	114,69
P₂	26,25	27,82	26,64	80,71
P₃	23,01	24,07	26,63	73,71
Totais de D	85,66	90,44	93,01	269,11

Dessa forma, os totais de Peneiras e de Densidades são totais de 9 parcelas.

$$SQ_{\text{Peneiras}} = \frac{1}{9} (114,69^2 + 80,71^2 + 73,71^2) - C = 106,7778$$

$$SQ_{\text{Densidades}} = \frac{1}{9} (85,66^2 + 90,44^2 + 93,01^2) - C = 3,0917$$

Para o cálculo da soma de quadrados da Interação PxD, devemos fazer:

$$SQ_{\text{PxD}} = SQ_{\text{PxD}} = SQ_{\text{Tratamento}} - SQ_{\text{P}} - SQ_{\text{D}} = 111,4428 - 106,78 - 3,09 = 1,57$$

As hipóteses de nulidade para este experimento são:

Peneiras (P) – H₀: As 3 Peneiras apresentam efeitos semelhantes sobre a produção média de vagens por planta.

Densidades (D) – H₀: As 3 Densidades apresentam efeitos semelhantes sobre a produção média de vagens por planta.

Interação Px D – H₀: Os fatores Peneiras e Densidades agem de modo independente sobre a produção média de vagens por planta.

Análise de variância do experimento fatorial.

Causa da variação	G.L.	SQ	QM	F
Peneiras (P)	2	106,7778	53,3889	86,98**
Densidades (D)	2	3,0917	1,5459	2,52 ^{NS}
Interação Px D	4	1,5733	0,3933	0,64 ^{NS}
(Tratamentos)	(8)	(111,4428)	-	-
Blocos	2	5,3957	2,6979	4,40*
Resíduo	16	9,8203	0,6138	-
Total	26	126,6588	-	-

Conclusões:

a) Interação Px D

O teste não foi significativo (P>0,05). Não rejeitamos H₀. Logo, os efeitos das Peneiras sobre a produção média de amendoim em vagem por planta, independem da densidade (ou vice-versa).

b) Peneiras (P)

O teste foi significativo (P<0,01). Rejeitamos H₀. Logo, as peneiras apresentam efeitos diferentes sobre a produção média de vagens por planta.

c) Densidades (D)

O teste não foi significativo (P>0,05). Não rejeitamos H₀. Logo, as densidades apresentam efeitos semelhantes sobre a produção média de vagens por planta.

Teste de Tukey para Peneiras (P)

$$\bar{x}_{P1} = \frac{114,69}{9} = 12,74g \quad \bar{x}_{P2} = \frac{80,71}{9} = 8,97g \quad \bar{x}_{P3} = \frac{73,71}{9} = 8,19g$$

$$\Delta = q \sqrt{\frac{QM_{Res}}{r}} = 3,65 \sqrt{\frac{0,6138}{9}} = 0,95g$$

Tratamento	\bar{x}_{P1} 12,74 a	\bar{x}_{P2} 8,97 b	\bar{x}_{P3} 8,19 b
------------	------------------------	-----------------------	-----------------------

Conclusão: a média de produção de amendoim por vagem, por planta, obtida para P₁ é significativamente superior às obtidas para P₂ e P₃, que, não diferem entre si.

3.2.2 Com interação significativa

Exemplo: Vamos considerar dados de um experimento inteiramente casualizado, com 4 repetições, no esquema fatorial 3x2, para testar os efeitos de 3 recipientes (R₁, R₂, R₃) para produção de mudas e 2 espécies de eucalyptos (E₁, E₂), quanto ao desenvolvimento das mudas. Os Recipientes e as espécies testadas foram:

R₁ = saco plástico pequeno ; R₂ = saco plástico grande ; R₃ = laminado

E₁ = *Eucalyptus citriodora* ; E₂ = *Eucalyptus grandis*

As alturas médias das mudas, em cm, aos 80 dias de idade são apresentadas a seguir:

Tratamentos	Repetições				Totais
	1	2	3	4	
1 – R ₁ E ₁	26,2	26,0	25,0	25,4	102,6
2 – R ₁ E ₂	24,8	24,6	26,7	25,2	101,3
3 – R ₂ E ₁	25,7	26,3	25,1	26,4	103,5
4 – R ₂ E ₂	19,6	21,1	19,0	18,6	78,3
5 – R ₃ E ₁	22,8	19,4	18,8	19,2	80,2
6 – R ₃ E ₂	19,8	21,4	22,8	21,3	85,3
					551,2

Quadro da análise de variância

Causa da variação	G.L.	SQ	QM	F
Tratamentos	5	175,70	35,14	27,45**
Resíduo	18	23,09	1,28	-
Total	23	198,79	-	-

Verificamos que o teste é significativo a 1% de probabilidade, indicando que os tratamentos apresentam efeitos diferentes sobre as alturas das mudas.

Devemos proceder ao desdobramento dos 5 graus de liberdade de tratamentos.

Quadro auxiliar

(4)	R ₁	R ₂	R ₃	TOTAIS DE E
E ₁	102,6	103,5	80,2	286,3
E ₂	101,3	78,3	85,3	264,9
TOTAIS DE R	203,9	181,8	165,5	551,2

$$SQ_R = \frac{1}{8} (203,9^2 + 181,8^2 + 165,5^2) - C = 92,86$$

$$SQ_E = \frac{1}{12} (286,3^2 + 264,9^2) - C = 19,08$$

$$SQ_{R \times E} = SQ_{\text{Tratamentos}} - SQ_R - SQ_E$$

$$SQ_{R \times E} = 175,70 - 92,86 - 19,08 = 63,76$$

Quadro de análise de variância do fatorial:

Causa da variação	G.L.	SQ	QM	F
Recipientes (R)	2	92,86	46,43	36,27**
Espécies (E)	1	19,08	19,08	14,91**
Interação RxE	2	63,76	31,88	24,91**
(Tratamentos)	(5)	(175,70)	-	-
Resíduo	18	23,09	1,28	-
Total	23	198,79	-	-

Verificamos que o teste F para a interação foi significativa ($P < 0,01$), indicando existir uma dependência entre os efeitos dos fatores Recipientes (R) e Espécies (E). Então, as conclusões que poderíamos tirar para os efeitos principais de recipientes (R) e de Espécies (E) ficam prejudicadas, pois:

- Os efeitos dos Recipientes dependem da Espécie utilizada; ou
- Os efeitos das Espécies dependem do recipiente utilizado.

Então, devemos proceder ao desdobramento da Interação RxE, o que pode ser feito de duas maneiras:

a) Para estudar o comportamento das Espécies dentro de cada recipiente;

b) Para estudar o comportamento dos Recipientes dentro de cada espécie.

Desdobramento da Interação RxE para estudar o comportamento das Espécies dentro de cada recipiente;

$$SQ_{\text{Espécie d. R}_1} = \frac{1}{4} (102,6^2 + 101,3^2) - \frac{203,9^2}{8} = 0,21$$

$$SQ_{\text{Espécie d. R}_2} = \frac{1}{4} (103,5^2 + 78,3^2) - \frac{181,8^2}{8} = 79,38$$

$$SQ_{\text{Espécie d. R}_3} = \frac{1}{4} (80,2^2 + 85,3^2) - \frac{165,5^2}{8} = 3,25$$

Análise de variância para estudo dos efeitos de Espécies em cada recipiente

Causa da variação	G.L.	SQ	QM	F
Espécies d. R ₁	1	0,21	0,21	0,16 ^{NS}
Espécies d. R ₂	1	79,38	79,38	62,02**
Espécies d. R ₃	1	3,25	3,25	2,54 ^{NS}
Resíduo	18	23,09	1,28	-

Conclusões:

a) Quando se utiliza o Recipiente R₁ (saco plástico pequeno), não há diferença significativa ($P > 0,05$) no desenvolvimento das mudas das 2 Espécies;

b) Quando se utiliza o Recipiente R₂ (saco plástico grande), há diferença significativa ($P < 0,01$) no desenvolvimento das mudas das 2 Espécies, sendo melhor para a espécie E₁ (*Eucalyptus citriodora*);

c) Quando se utiliza o Recipiente R₃ (laminado), não há diferença significativa ($P > 0,05$) no desenvolvimento das mudas das 2 Espécies.

Exercício: Proceder ao desdobramento da Interação RxE para estudar o comportamento dos recipientes dentro de cada espécie.

Os resultados do experimento podem ser resumidos na seguinte tabela:

	R ₁	R ₂	R ₃
E ₁	25,7 aA	25,9 aA	20,1 bA
E ₂	25,3 aA	19,6 bB	21,3 bA

a, b – Para cada espécie, médias de recipientes seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si.

A, B – Para cada recipiente, médias de espécies seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si.