

DELINEAMENTO EM PARCELAS SUBDIVIDIDAS

(“SPLIT PLOT”)

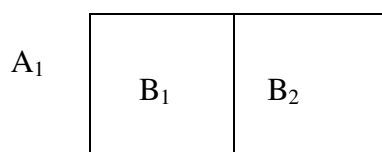
Introdução: Nos ensaios fatoriais, todas as combinações de tratamentos são distribuídas nas unidades experimentais seguindo a aleatorizações característica do DIA, DAB ou DQL.

Entretanto, outros tipos de aleatorização existem e um desses é o que leva aos DPS.

Característica: Parcelas ou unidades inteiras, que recebem os níveis de um dos fatores, são divididas em **SUBPARCELAS** ou SUBUNIDADES, às quais os níveis de um fator adicional são aplicados.

Fato: Cada parcela funciona como um “bloco” para os tratamentos das subparcelas.

Esquema de uma parcela de um ensaio em Parcelas Subdivididas:



Tratamentos principais (A): são os níveis do fator colocados nas parcelas, de forma aleatória.

Tratamentos secundários (B): são os níveis do fator aleatorizado nas subparcelas.

Exemplo: Considere um ensaio para testar um fator A (**Calcário**), em dois níveis (A_1 , A_2), distribuídos em 4 blocos. Um segundo fator B (**Adubo**) em três níveis (B_1 , B_2 , B_3) pode ser sobreposto a cada nível do fator A, dividindo-se cada parcela com A em 3 subunidades, e aleatorizando os níveis de B nestas 3 subunidades.

Esquema da distribuição no campo:

Bloco I	Bloco II	Bloco III	Bloco IV
A_2B_1	A_1B_2	A_2B_2	A_1B_1
A_2B_3	A_1B_3	A_2B_1	A_1B_3
A_2B_2	A_1B_1	A_2B_3	A_1B_2
A_1B_2	A_2B_3	A_1B_1	A_2B_1
A_1B_1	A_2B_2	A_1B_2	A_2B_3
A_1B_3	A_2B_1	A_1B_3	A_2B_2

Aleatorização: é feita em dois estágios: 1) os níveis do fator A são aleatorizados nas parcelas de cada bloco. 2) aleatoriza-se os níveis do fator B nas subparcelas de cada parcela.

Situações de uso:

1) Um fator de estudo exige maior quantidade de material que outro.

Exemplo: Métodos de preparo do solo (gradagem, aração), que exigem parcelas grandes. O outro fator poderia ser Variedade, que pode se usada comparando parcelas menores.

2) Um fator é incorporado num ensaio, para ampliar o objetivo da pesquisa.

Exemplo: Supor que o principal objetivo de um experimento é comparar os efeitos de diversos fungicidas como proteção contra infecção por doença. Para ampliar o objetivo da pesquisa, diversas variedades são incluídas, as quais se sabem que diferem quanto à resistência à doença. Qual usar na parcela? O fungicida pode ter efeito de deriva e isso força o seu uso na parcela. No entanto, ao nível de subparcela o fator é melhor testado.

3) Espera-se que maiores diferenças ocorram entre os níveis de um fator do que de outro. Nesse caso o tratamento com maiores diferenças esperadas, pode ser aleatorizado nas parcelas, por conveniência.

Fato: Ocorre maior homogeneidade das condições experimentais dentro da subparcela. Portanto, o fator de maior importância para o pesquisador deve ser aleatorizado dentro da subparcela.

Modelo matemático:
$$y_{ijk} = \mu + a_i + \text{bloco}_j + (a \times \text{bloco})_{ij} + b_k + (a \times b)_{ik} + e_{ijk} \quad \begin{cases} i = 1, 2, \dots, I \\ j = 1, 2, \dots, J \\ k = 1, 2, \dots, K \end{cases}$$

y_{ijk} : é a observação que recebe o i-ésimo nível do fator A, k-ésimo nível do fator B e que está no j-ésimo Bloco.

μ : Constante geral, representa a média.

a_i : é o efeito do i-ésimo nível do tratamento principal ou i-ésimo nível do fator A.

bloco_j : é o efeito do j-ésimo bloco.

$(a \times \text{bloco})_{ij}$: é o resíduo a nível de parcela.

b_k : é o efeito do k-ésimo nível do tratamento secundário ou k-ésimo nível do fator B.

$(a \times b)_{ik}$: é o efeito da interação do i-ésimo nível do fator A com o k-ésimo nível do B.

e_{ijk} : é o resíduo ou erro experimental.

} Parcela

} Subparcela

Esquema resumido da ANVA:

Fonte de Variação	Graus de Liberdade
Blocos	J-1
A	I-1
Resíduo (a)	(J-1)(I-1)
B	K-1
A*B	(I-1)(K-1)
Resíduo (b)	Por diferença
Total	IJK-1

ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE UM ENSAIO EM PARCELA SUBDIVIDIDA.

Exemplo:

Banzatto e Kronka (1992), apresentam o ensaio citado por Steel e Torrie (1980), no qual são comparadas 4 variedades de aveia e 4 tratamentos de sementes (3 produtos químicos + testemunha não tratada) quanto aos efeitos sobre a produção.

As variedades utilizadas (fator A) foram:

A₁ – Vicland 1 – infectada com o fungo *Helminthosporium victoriae*

A₂ – Vicland 2 – não infectada

A₃ – Clinton – resistente a *H. victoriae*

A₄ – Branch – resistente a *H. victoriae*

As variedades foram distribuídas aleatoriamente nas parcelas de cada um dos quatro blocos do ensaio.

Os tratamentos de sementes utilizados (fator B) foram:

B₁ – Testemunha (não tratado)

B₂ – Ceresan M

B₃ – Panogen

B₄ – Agros

Os tratamentos de sementes foram aleatoriamente distribuídos nas quatro subparcelas de cada parcela.

Os Dados de produção de aveia foram:

VARIEDADES (A)	TRATAMENTOS DE SEMENTES (B)	BLOCOS				TOTAIS
		1	2	3	4	

A ₁	B ₁	42,9	41,6	28,9	30,8	144,2
	B ₂	53,8	58,5	43,9	46,3	202,5
	B ₃	49,5	53,8	40,7	39,4	183,4
	B ₄	44,4	41,8	28,3	34,7	149,2
A ₂	B ₁	53,3	69,6	45,4	35,1	203,4
	B ₂	57,6	69,6	42,4	51,9	221,5
	B ₃	59,8	65,8	41,4	45,4	212,4
	B ₄	64,1	57,4	44,1	51,6	217,2
A ₃	B ₁	62,3	58,5	44,6	50,3	215,7
	B ₂	63,4	50,4	45,0	46,7	205,5
	B ₃	64,5	46,1	62,6	50,3	223,5
	B ₄	63,6	56,1	52,7	51,8	224,2
A ₄	B ₁	75,4	65,6	54,0	52,7	247,7
	B ₂	70,3	67,3	57,6	58,5	253,7
	B ₃	68,8	65,3	45,6	51,0	230,7
	B ₄	71,6	69,4	56,6	47,4	245,0
TOTAIS		965,3	936,8	733,8	743,9	3.379,8

Atenção: A unidade de cálculo passa a ser a subparcela!

Média geral = $3.379,8/64 = 52,81$

Correção para a média: $C = \frac{3.379,8^2}{64} = 178485,1256$

S.Q. Total = $42,9^2 + 41,6^2 + \dots + 47,4^2 - C$
 $= 7.797,39$

S.Q. Blocos = $\frac{1}{16} (965,3^2 + \dots + 743,9^2) - C = 2842,8731$

Cálculo da soma de quadrados do fator (A) e da Parcela:

Quadro auxiliar com os totais das parcelas.

(4)	BLOCO I	BLOCO II	BLOCO III	BLOCO IV	TOTAIS
A ₁	190,6	195,7	141,8	151,2	679,3
A ₂	234,8	262,4	173,3	184,0	854,5
A ₃	253,8	211,1	204,9	199,1	868,9
A ₄	286,1	267,6	213,8	209,6	977,1
TOTAIS	965,3	936,8	733,8	743,9	3.379,8

Do quadro anterior, calcula-se:

$$\begin{aligned} \text{S.Q. Variedades (A)} &= \frac{1}{16} (679,3^2 + \dots + 977,1^2) - C \\ &= 2.848,02 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{S.Q. Parcela} &= \frac{1}{4} (190,6^2 + 195,7^2 + \dots + 209,6^2) - C \quad (\text{ou S.Q. (A, Blocos)}). \\ &= 6.309,19 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{S.Q. Res.(a)} &= \text{S.Q.Parcela} - \text{S.Q.Blocos} - \text{S.Q.(A)} \\ &= 6.309,19 - 2.842,87 - 2.848,02 \\ &= 618,30 \end{aligned}$$

Cálculo da soma de quadrados do fator (B) e interação (A×B):

Quadro auxiliar com os totais das subparcelas.

(4)	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	TOTAIS
A ₁	144,2	202,5	183,4	149,2	679,3
A ₂	203,4	221,5	212,4	217,2	854,5
A ₃	215,7	205,5	223,5	224,2	868,9
A ₄	247,7	253,7	230,7	245,0	977,1
TOTAIS	811,0	883,2	850,0	835,6	3.379,8

Do quadro anterior, calcula-se:

$$\begin{aligned} \text{S.Q. Trat. De Sementes (B)} &= \frac{1}{16} (811,0^2 + 883,2^2 + \dots + 835,6^2) - C \\ &= 170,53 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{S.Q.(A,B)} &= \frac{1}{4} (144,2^2 + 202,5^2 + \dots + 245,0^2) - C \quad (\text{S.Q. Conjunta}) \\ &= 3.605,02 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{S.Q.(A×B)} &= \text{S.Q.(A,B)} - \text{S.Q.(A)} - \text{S.Q.(B)} \\ &= 3.605,02 - 2.848,02 - 170,53 \\ &= 586,47 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{S.Q. Res(b)} &= \text{S.Q.Total} - \text{S.Q.Parcela} - \text{S.Q.B} - \text{S.Q. (A×B)} \\ &= 7.797,39 - 6.309,19 - 170,53 - 586,47 \\ &= 731,20 \end{aligned}$$

Quadro da ANVA

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	2.842,87	947,62	13,79**
Variedades (A)	3	2.848,02	949,34	13,82**
Resíduo (a)	9	618,30	68,70	-----
Trat. De Sementes (B)	3	170,53	56,84	2,80 _{ns}
Interação (A×B)	9	586,47	65,16	3,21**
Resíduo (b)	36	731,20	20,31	-----
Total	63	7.797,39	-----	-----

Coeficiente de variação:

Nos ensaios em parcelas subdivididas, temos 2 CV's.

1) Para parcela:

$$CV(a) = \frac{\sqrt{68,70}}{52,81} \times 100 = 15,70\%$$

2) Para subparcela:

$$CV(b) = \frac{\sqrt{20,31}}{52,81} \times 100 = 8,54\%$$

Note que a variabilidade ao nível de subparcela é bem menor!

Comparações de médias, pelo teste de Tukey

Diversos casos de comparações de médias poderiam ser considerados:

a) Comparações entre médias de tratamentos principais- (Médias de variedades-A)

$$\Delta = q \frac{\sqrt{Q.M. \text{ Res. (a)}}}{\sqrt{KJ}} = 4,42 \times \frac{\sqrt{68,70}}{\sqrt{4 \times 4}} = 9,2 \quad \text{onde } q_{(4,9,0,05)}=4,42$$

A₄ 61,0687500a

A₃ 54,3062500a

A₂ 53,4062500a

A₁ 42,4562500 b

b) Comparações entre médias de tratamentos secundários

$$\Delta = q \frac{\sqrt{Q.M. \text{ Res. (b)}}}{\sqrt{IJ}} = 3,81 \times \frac{\sqrt{20,31}}{\sqrt{4 \times 4}} = 4,3 \quad \text{onde } q_{(4,36,0,05)}=3,81$$

B₂ 55,2000000a

B₃ 53,1250000ab

B₄ 52,2250000ab

B₁ 50,6875000b

Obs: Não seria correto usar os casos a) e b) anteriores pois a interação foi significativa. O correto, a exemplo do fatorial, é desdobrar A d. B e B d. A

- c) Desdobramento dos tratamentos secundários em cada tratamento principal (Tratamentos de Sementes **B**, em cada Variedade **A**)

$$S.Q. (B \text{ d. } A_1) = \frac{1}{4} (144,2^2 + \dots + 149,2^2) - \frac{1}{16} (679,3)^2 = 583,49$$

$$S.Q. (B \text{ d. } A_2) = \frac{1}{4} (203,4^2 + \dots + 217,2^2) - \frac{1}{16} (854,5)^2 = 45,21$$

$$S.Q. (B \text{ d. } A_3) = \frac{1}{4} (215,7^2 + \dots + 224,2^2) - \frac{1}{16} (868,9)^2 = 56,96$$

$$S.Q. (B \text{ d. } A_4) = \frac{1}{4} (247,7^2 + \dots + 245,0^2) - \frac{1}{16} (977,1)^2 = 71,34$$

Verificação: $S.Q. (B \text{ d. } A_1) + \dots + S.Q. (B \text{ d. } A_4) = S.Q.B + S.Q.(A \times B)$

A ANVA com desdobramento de B dentro de A fica:

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
B d. A₁	3	583,49	194,50	9,58**
B d. A₂	3	45,21	15,07	0,74^{ns}
B d. A₃	3	56,96	18,99	0,94^{ns}
B d. A₄	3	71,34	23,78	1,17^{ns}
Resíduo (b)	36	731,20	20,31	-----

Como há diferença significativa entre efeitos de tratamentos de sementes, apenas no nível 1 de Variedade (Vicland 1), podemos comparar as médias dos tratamentos de sementes (B) apenas nesta variedade. Assim,

Teste de Tukey:

$$\Delta = q \frac{\sqrt{Q.M. \text{ Res. (b)}}}{\sqrt{J}} = 3,81 \frac{\sqrt{20,31}}{\sqrt{4}} = 8,6$$

onde $q_{(K=4; 36 \text{ gl Res. (b); } 0,05)} = 3,81$

$$\overline{A_1 B_2} = \frac{202,5}{4} = 50,6a$$

$$\overline{A_1 B_3} = \frac{183,4}{4} = 45,9a$$

$$\overline{A_1 B_4} = \frac{149,2}{4} = 37,3b$$

$$\overline{A_1 B_1} = \frac{144,2}{4} = 36,1b$$

- d) Desdobramento dos tratamentos principais em cada tratamento secundário (Variedade - **A**, em cada Tratamento de Sementes - **B**)

Obs: Este estudo envolve dois resíduos :

$$Q.M. \text{ Res. Médio} = \frac{Q.M. \text{ Res. (a)} + (K-1)Q.M. \text{ Res. (b)}}{K}$$

Note: é uma média ponderada dos dois resíduos.

Do exemplo temos:

$$\text{Q.M.Res. Médio} = \frac{68,70 + (4-1)20,31}{4} = 32,41$$

Os graus de liberdade (J'), associados a este Resíduo Médio é calculado de modo aproximado, pela fórmula de Satterthwaite:

$$J' = \frac{[\text{Q.M.Res. (a)} + (K-1)\text{Q.M.Res. (b)}]^2}{\frac{[\text{Q.M.Res. (a)}]^2}{\text{g.l.Res. (a)}} + \frac{[(K-1)\text{Q.M.Res. (b)}]^2}{\text{g.l.Res. (b)}}}$$

Deve-se ter sempre: $\text{g.l.Res. (a)} \leq J' \leq [\text{g.l.Res. (a)} + \text{g.l.Res. (b)}]$

Do exemplo têm-se:

$$J' = \frac{[68,70 + (4-1)(20,31)]^2}{\frac{68,70^2}{9} + \frac{[(4-1)(20,31)]^2}{36}} \approx 26,78 \quad J' = 27 \text{ g.l.} \quad \text{Note : } (9 \leq 27 \leq 45)$$

$$\text{S.Q. (A d. B}_1) = \frac{1}{4} (144,2^2 + \dots + 247,7^2) - \frac{1}{16} (811,0)^2 = 1.404,18$$

$$\text{S.Q. (A d. B}_2) = \frac{1}{4} (202,5^2 + \dots + 253,7^2) - \frac{1}{16} (883,2)^2 = 412,97$$

$$\text{S.Q. (A d. B}_3) = \frac{1}{4} (183,4^2 + \dots + 230,7^2) - \frac{1}{16} (850,0)^2 = 324,77$$

$$\text{S.Q. (A d. B}_4) = \frac{1}{4} (149,2^2 + \dots + 245,0^2) - \frac{1}{16} (835,6)^2 = 1.292,57$$

Verificação: $\text{S.Q. (A d. B}_1) + \dots + \text{S.Q. (A d. B}_4) = \text{S.Q. (A)} + \text{S.Q. (A} \times \text{B)}$

A ANVA com desdobramento de A dentro de B fica:

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
A d. B ₁	3	1.404,18	468,06	14,44**
A d. B ₂	3	412,97	137,66	4,25*
A d. B ₃	3	324,77	108,26	3,34*
A d. B ₄	3	1.292,57	430,86	13,29**
Resíduo Médio	27	-----	32,41	-----

$$F_{(3;27;0,05)} = 2,96 \quad F_{(3;27;0,01)} = 4,60$$

Comparação das médias de Variedades (A), em cada Tratamento de sementes (B). Assim,

Teste de Tukey:

$$\Delta = q \frac{\sqrt{\text{Q.M. Res. Médio}}}{\sqrt{J}} = 3,88 \frac{\sqrt{32,41}}{4} = 11,0 \quad q_{(1=4; 27 \text{ gl Res. Médio}; 0,05)} = 3,88$$

	Testemunha B ₁	Ceresan M B ₂	Panogen B ₃	Agrox B ₄
A ₁ -Vicland 1	36,1 ^c	50,6 ^b	45,9 ^b	37,3 ^b
A ₂ -Vicland 2	50,9 ^b	55,4 ^{ab}	53,1 ^{ab}	54,3 ^a
A ₃ -Clinton	53,9 ^{ab}	51,4 ^b	55,9 ^{ab}	56,1 ^a
A ₄ -Branch	61,9 ^a	63,4 ^a	57,7 ^a	61,3 ^a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância.

```
data SEMENTES;
do VARIEDAD=1 to 4;
  do TRASEM=1 to 4;
    do BLOCOS=1 to 4;
      input PRODAVEI @@;
      output;
    end;
  end;
end;
cards;
42.9 41.6 28.9 30.8
53.8 58.5 43.9 46.3
49.5 53.8 40.7 39.4
44.4 41.8 28.3 34.7
53.3 69.6 45.4 35.1
57.6 69.6 42.4 51.9
59.8 65.8 41.4 45.4
64.1 57.4 44.1 51.6
62.3 58.5 44.6 50.3
63.4 50.4 45.0 46.7
64.5 46.1 62.6 50.3
63.6 56.1 52.7 51.8
75.4 65.6 54.0 52.7
70.3 67.3 57.6 58.5
68.8 65.3 45.6 51.0
71.6 69.4 56.6 47.4
;
proc glm data=SEMENTES;
class VARIEDAD TRASEM BLOCOS;
model PRODAVEI=BLOCOS VARIEDAD BLOCOS*VARIEDAD TRASEM
VARIEDAD*TRASEM/ss3;
test h=VARIEDAD e=BLOCOS*VARIEDAD;
lsmeans VARIEDAD/e=BLOCOS*VARIEDAD adjust=tukey pdiff;
lsmeans TRASEM /adjust=tukey pdiff;
lsmeans VARIEDAD*TRASEM/adjust=tukey pdiff slice=VARIEDAD;
lsmeans VARIEDAD*TRASEM/slice=TRASEM e=BLOCOS*VARIEDAD;
run;

/*Planejamento de um ensaio em parcelas subdividida, com 4 blocos 4
variedades na parcela e 4 tratamentos de sementes ao nível de
subparcelas*/
proc plan;
factors BLOCOS=4 order VARIED=4 TRASEM=4;
```

```
output out=CROQUI;
  BLOCOS nvals=(1 2 3 4)  VARIEDAD cvals=('A1' 'A2' 'A3' 'A4') TRASEM
cvals=('B1' 'B2' 'B3' 'B4');
Proc print data=CROQUI; run;
```

Exercício: Barbin(2003) apresenta os dados referentes a produtividade (t/ha) de cana-de-açúcar, cultivar CB-43-5, obtidos de 2 sistemas de plantio (sulcos simples, sulcos Duplos) nos dois primeiros cortes (cana planta e cana soca) em um ensaio em parcelas subdivididas, no DIA.

Cortes			
Sulcos	Cana Planta	Cana soca	Totais
Sulcos Simples	92,9	84,5	177,4
	128,6	86,7	215,3
	121,7	84,5	206,2
	122,8	77,0	199,8
	118,1	88,1	206,2
	115,7	82,4	198,1
	121,4	84,0	205,4
	126,9	88,8	215,7
	118,1	85,7	203,8
	122,4	78,8	201,2
Total	1188,6	840,5	2029,1
Sulcos Duplos	122,5	84,5	207,0
	110,0	85,0	195,0
	115,0	85,5	200,5
	125,0	88,0	213,0
	105,0	86,7	191,7
	110,0	80,7	190,7
	115,0	88,3	203,3
	105,0	89,3	194,3
	108,5	94,3	202,8
	118,3	90,0	208,3
Totais	1134,3	872,3	2006,6

Pede-se:

1) Fazer análise da variância. 2) Fazer possíveis desdobramentos dos efeitos significativos. 3) Tirar conclusões.

Referências:

Banzatto, D.A. e Kronka, S.N. (1992)

Barbin, D.(2003)