



PGM522 – ANÁLISE DE EXPERIMENTOS EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS

Ricardo Antonio Ruiz Cardozo

8ª LISTA DE EXERCÍCIOS

Análise Multiambientes – Análise Conjunta de Experimentos

1) Os dados a seguir referem-se à altura (em metros) de eucalipto de quatro espécies com três anos de idade. Os ensaios foram conduzidos em três locais (Araras, Mogi-Guaçu e São Simão) no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições e.

Araras				
Espécies	Blocos			
	I	II	III	IV
<i>E. saligna</i>	3,4	3,4	3,9	3,7
<i>E. tereticornes</i>	4,3	4,1	3,7	3,9
<i>E. alba</i>	4,2	4,5	4,1	4,0
<i>E. citriodora</i>	2,1	2,6	2,3	2,7

Mogi-Guaçu				
Espécies	Blocos			
	I	II	III	IV
<i>E. saligna</i>	4,3	4,1	3,9	4,2
<i>E. tereticornes</i>	3,9	4,2	3,8	4,0
<i>E. alba</i>	4,2	4,5	3,7	4,0
<i>E. citriodora</i>	3,0	2,8	3,1	2,6

São Simão				
Espécies	Blocos			
	I	II	III	IV
<i>E. saligna</i>	3,4	3,2	3,8	3,7
<i>E. tereticornes</i>	4,0	3,9	4,1	3,8
<i>E. alba</i>	4,5	3,9	4,2	4,1

<i>E.citriodora</i>	2,6	2,3	2,5	2,4
---------------------	-----	-----	-----	-----

Pede-se:

- a) Estabeleça o modelo estatístico da análise individual (por local) e descreva os termos (Assuma modelo fixo).

Análise Individual

$$Y_{ij} = \mu + c_i + b_j + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ijk} : Altura da planta da espécie de eucalipto i no bloco j ($i = 1, 2, 3, 4$; $j = 1, 2, 3, 4$)

μ : Constante associada a todas as observações – Efeito fixo;

c_i : efeito da espécie de eucalipto i – Efeito fixo;

b_j : efeito do bloco j – Efeito fixo;

ε_{ij} : efeito do erro experimental associado à parcela ij .

Análise Conjunta

$$Y_{ijk} = \mu + l_k + b_{j(k)} + c_i + lc_{ki} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} : Altura da planta da espécie de eucalipto i , no bloco j , no local k ($i = 1, 2, 3, 4$; $j = 1, 2, 3, 4$; $k = 1, 2, 3$)

μ : Constante associada a todas as observações – Efeito fixo;

l_k : efeito do local k – Efeito fixo;

c_i : efeito da espécie de eucalipto i – Efeito fixo;

$b_{j(k)}$: efeito do bloco j dentro local k – Efeito fixo;

lc_{ki} : efeito da interação entre o local k e as espécies i ;

ε_{ijk} : efeito do erro experimental associado à espécie de eucalipto i , do bloco j , no local k .

- b) Faça as análises de variância individuais e a partir das variâncias residuais aplique o teste de Bartlett da homogeneidade das variâncias residuais a 5% de probabilidade.

Tabela 1. Tabela de análise de variância (ANAVA) da altura das espécies de eucalipto para o local Araras.

	GL	SQ	QM	F value	p-value(>F)
Bloco	3	0,0619	0,02062	0,2707	0,845
Espécie	3	7,5719	2,52396	33,1313	3,42E ^{-05**}
Resíduo	9	0,6856	0,07618		

Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Tabela 2. Tabela de análise de variância (ANAVA) da altura das espécies de eucalipto para o local Mogi-Guaçu.

	GL	SQ	QM	F value	p-value(>F)
Bloco	3	0,1969	0,06562	1,2685	0,3425
Espécie	3	4,3119	1,43729	27,7812	6,99E ⁻⁰⁵ **
Resíduo	9	0,4656	0,05174		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tabela 3. Tabela de análise de variância (ANAVA) da altura das espécies de eucalipto para o local São-Simão.

	GL	SQ	QM	F value	p-value(>F)
Bloco	3	0,265	0,08833	3,18	0,07757
Espécie	3	7,035	2,345	84,42	6,55E ⁻⁰⁷ ***
Resíduo	9	0,25	0,02778		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Teste de Barlett (Homogeneidade variâncias do erro entre locais)

$$\text{Bartlett's } K\text{-squared} = 1.0328, df = 2, p\text{-value} = 0,5967$$

De acordo com o teste de Bartlett, sob um nível de significância de 5%, não se rejeita H_0 . As variâncias são homogêneas, pois o P valor é maior que 0,05 (0,5967).

- c) Estime os coeficientes de variação e acurácia de cada ensaio.

Tabela 3. Tabela de precisão experimental de cada ensaio em delineamento em blocos completamente casualizados (Araras, Mogi-Guaçu, São Simão) altura das espécies de eucalipto.

	Araras	Mogi-Guaçu	São Simão
CVe (%)	7,76	6.03	4.723
r_{gg}	0,985	0.982	0.994

- d) Realize a análise da variância conjunta e interprete os resultados. Considerando o modelo fixo, realize os testes F adequados para as fontes de variação de interesse.

Tabela 4. Tabela de análise de variância (ANAVA) da altura das espécies de eucalipto nos diferentes locais de avaliação.

	GL	SQ	QM	F value	p-value(>F)
Local	2	0,5629	0,2815	5,4233	0,01047*
Espécie	3	18,0883	6,0294	116,1784	1,51E ⁻¹⁷ ***
Bloco:Local	9	0,5237	0,0582	1,1213	0,38188
Local:Espécie	6	0,8304	0,1384	2,6668	0,03657*
Residuals	27	1,4012	0,0519		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Segundo a análise da variância teve diferenças significativas entre locais e espécies de eucalipto, isto significa que existem diferenças entre as médias dos locais e das espécies. Por outro lado, existe interação entre local e espécie, esta interação pode ser simples ou complexa, ou seja, existe diferenças marcantes em cada um dos locais onde uma espécie é mais adaptada que outra.

e) Obtenha o interaction plot.

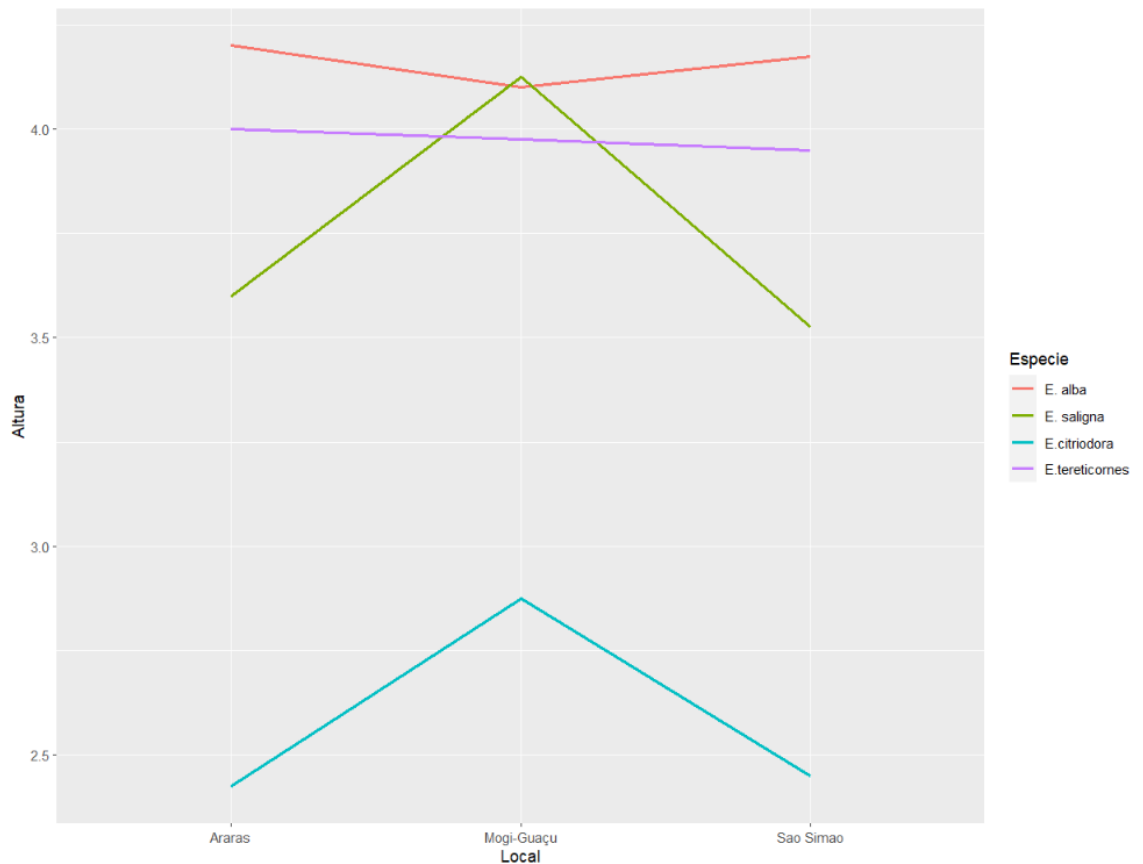


Figura 1. Gráfico da interação das diferentes espécies de eucalipto em cada um dos locais, apresentando diferentes tipos de interação entre o genótipo e o ambiente, nesse caso complexa e simples dependendo dos genótipos comparados.

f) Determine as frações de interação simples e complexa.

$$QM_{G \times A} = \frac{1}{n_A - 1} \sum_{n'} (\sqrt{QM_{G_{A_n}}} \sqrt{QM_G})^2 + \sum_{n < n'} \frac{2}{n_A(n_A - 1)} (1 - r_{nn'}) \sqrt{QM_{G_{A_n}} \times QM_{G_{A_{n'}}}}$$

Parte simples:

$$Parte\ simples = \frac{1}{n_A - 1} \sum_{n'} (\sqrt{QM_{G_{A_n}}} \sqrt{QM_G})^2$$

$$QM_{GxA(simples)} = 0.0444549$$

Parte complexa:

$$\sigma_c^2 = \frac{QMC_{conj} - QMGxE_{conj}}{rl} = \frac{6.0294 - 0.1384}{4 * 3} = 0.4909$$

$$r_{l1l2} = \frac{\sigma_c^2}{\sqrt{\frac{QMC_n}{r} \times \frac{QMC_{n'}}{r}}} = \frac{0,4909}{\sqrt{\frac{2,52396}{4} * \frac{1,43729}{4}}} = 1.030997$$

$$r_{l1l3} = \frac{0.4909}{\sqrt{\frac{2,52396}{4} * \frac{2.345}{4}}} = 0.8071576$$

$$r_{l2l3} = \frac{0.4909}{\sqrt{\frac{1.437292}{4} * \frac{2.345}{4}}} = 1.069614$$

$$Parte\ complexa = \sum_{n < n'} \frac{2}{n_A(n_A-1)} (1 - r_{nn'}) \sqrt{QMG_{A_n} \times QMG_{A_{n'}}} = 0.09410454$$

Interação GxA:

$$QM_{GxA(simples)} = 0.0444549 + 0.09410454 = 0.13855944$$

$$QM_{GxA(simples)} = 32,08\% + 67,92\%$$

2) A seguir, estão os dados referentes à produção total (em t/ha) de cultivares de milho, em quatro locais. Cada experimento foi conduzido em DBC com quatro repetições.

Cultivares	Local			
	Pindorama	Jaú	Ribeirão Preto	São Simão
Agroceres	12,7	12,9	13	12,3
Azteca	11,4	11,5	11,4	11,6
Armour	9,6	9,4	9,5	8,8
IAC-75	12,8	13	13,1	13
IAC-115	8,3	7,8	7,7	8,1
QMerro	0,03642	0,03525	0,01808	0,02058

Pede-se:

- a) Aplique o teste de Hartley da homogeneidade de variâncias residuais.

$$H = \frac{0.03642}{0.01808} = 2.014381$$

$$F_{\max(\text{calc})} = 2,014381$$

$$F_{\max(\text{tab})} = 4,79$$

$$F_{\max(\text{calc})} < F_{\max(\text{tab})}$$

Segundo o teste de Hartley, ao nível de 0,05 de significância, indica que as variancias dos resíduos são homogêneas, visto que o Fmax calculado é menor que o Fmax tabulado.

- b) Estabelecer o modelo estatístico da análise conjunta.

$$Y_{ijk} = \mu + l_k + b_{j(k)} + c_i + lc_{ki} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} produção total (em t/ha) de cultivares de milho i , no bloco j , no local k .

μ : Constante associada a todas as observações;

l_k : efeito do local k ;

c_i : efeito da cultivares de milho i ;

$b_{j(k)}$: efeito do bloco j dentro local k ;

lc_{ki} : efeito da interação entre os cultivares i e os locais k ;

ε_{ijk} : efeito do erro experimental associado ao cultivar de milho i , do bloco j , no local k .

- c) Realizar a análise da variância conjunta e fazer as interpretações cabíveis (modelo fixo).

Tabela 5. Tabela de análise de variância (ANAVA) da produção total (t/ha) de cultivares de milho, em quatro locais.

	GL	SQ	QM	F value	p-value(>F)
Bloco/Local	12	-	-	-	-
Local	3	0,125	0,0418	1,51545	0,2224765
Cultivar	4	76,012	19,003	688,951	9,876E ^{-42***}
Local:Cultivar	12	0,852	0,071	2,57409	0,01013734*
Residuals	48	1,32396	0,0275825		
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

- d) Determine a ecovalência de cada cultivar e interprete.

Tabela 6. Ecovalência de cada cultivar com suas respectivas médias

Genótipos	Médias	Ecovalência	p-value	RC(%)
-----------	--------	-------------	---------	-------

Agrocere	12,7	1,14	0	29,4263
Azteca	11,5	0,16	0,0715	4,2509
Armour	9,3	1,48	0	38,0933
IAC-75	13	0,28	0,0101	7,1812
IAC-115	8	0,82	0	21,0483

As cultivares *Armour* e *Agrocere*, foram as que mais contribuíram para a interação, por apresentarem os valores mais alto de ecovalência 1,48 e 1,14 respectivamente isto significa que são os genótipos mais instáveis. A cultivar *Azteca* é a mais ecovalente, devido ao seu menor valor para a ecovalência (0,16), sendo a que menos contribuiu para a interação, sendo assim o genótipo mais estável junto com a *IAC-75*.

e) Aplique o teste de Tukey e, em seguida, recomende uma cultivar.

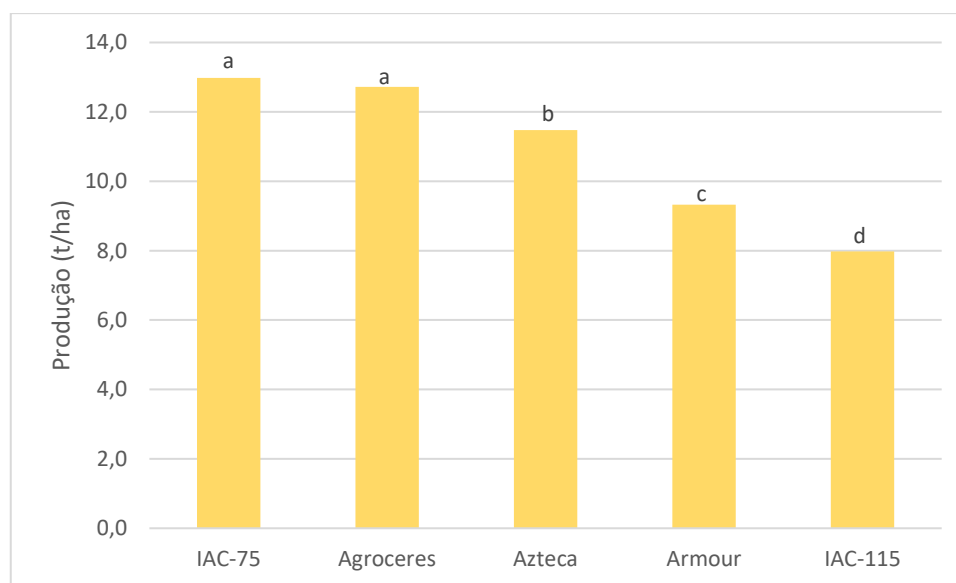


Figura 2. Produção de grãos (t/ha) de 5 cultivares de milho avaliadas em quatro locais, pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$)

Pelas análises obtidas, recomenda-se a cultivar *IAC-75*, isto por ser um genótipo estável por sua ecovalência comparado com *agrocere* e também por apresentar a maior produção de grãos diferenciado pelo teste de Tukey com respeito às cultivares *Azteca*, *Armour* e *IAC -115*

3) Utilizando os dados a seguir da produção de grãos (Kg/ha), de 16 híbridos de milho, conduzido em látice 4 x 4, na safra e safrinha, faça:

a) Estabeleça o modelo estatístico e especifique os termos do modelo das análises por safra.

$$Y_{ijk} = \mu + h_i + r_j + b_{k(j)} + \epsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} produção total (Kg/ha) de híbridos de milho i , na repetição j , no bloco k .

μ : Constante associada a todas as observações;

r_j : efeito da repetição j ;

h_i : efeito do híbrido de milho i ;

$b_{k(j)}$: efeito do bloco k dentro da repetição j ;

e_{ijk} : efeito do erro experimental associado à espécie de eucalipto i , do bloco j , na repetição k .

b) Proceda a análise de variância em látice com recuperação da informação interblocos por safra. Determine a eficiência relativa do látice e estime as médias ajustadas. Discuta o resultado.

Tabela 7. Tabela de análise de variância (ANAVA) da produção de híbridos de milho na época de safra.

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>QM</i>	<i>F value</i>	<i>p-value(>F)</i>
<i>Local</i>	3	17341663	5780554	3,3685	0,03*
<i>Cultivar</i>	15	38489473	2565965	1,4953	0,1637
<i>Local:Cultivar</i>	12	21949088	1829091	1,0659	0,4178
<i>Residuals</i>	33	56629544	1716047		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tabela 8. Tabela de análise de variância (ANAVA) da produção de híbridos de milho na época safrinha.

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>QM</i>	<i>F value</i>	<i>p-value(>F)</i>
<i>Local</i>	3	2684685	894895	0,7784	0,5145
<i>Cultivar</i>	15	63368113	4224541	3,6747	<0,001***
<i>Local:Cultivar</i>	12	16423991	1368666	1,1905	0,3297
<i>Residuals</i>	33	37937895	1149633		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Eficiência do delineamento:

Safra: 100,107%

Safrinha: 100,779%

A eficiência relativa do delineamento com respeito ao DBC foi quase um por cento maior devido à blocagem dentro de cada repetição.

Tabela 9. Médias Ajustadas obtidas com recuperação da informação interblocos e por safra

Época	Tratamento	Média Ajustada
Safra	11	7358,75
Safra	6	6380,76
Safra	1	6242,70
Safra	2	6083,59
Safra	13	5889,73
Safra	5	5754,59

Safra	9	5645,10
Safra	10	5366,34
Safra	15	5258,02
Safra	3	5187,47
Safra	7	5173,62
Safra	12	5075,29
Safra	14	4647,41
Safra	8	4459,44
Safra	16	4324,69
Safra	4	4164,76
Safrinha	13	5625,88
Safrinha	2	4540,51
Safrinha	5	4427,15
Safrinha	4	4344,29
Safrinha	8	3871,45
Safrinha	11	3629,44
Safrinha	3	3237,95
Safrinha	15	3060,63
Safrinha	16	3005,92
Safrinha	14	2749,12
Safrinha	7	2669,34
Safrinha	10	2626,72
Safrinha	6	2440,45
Safrinha	1	2428,70
Safrinha	12	2364,46
Safrinha	9	1405,98

c) Estabeleça o modelo estatístico e especifique os termos do modelo da análise conjunta. Assuma adicionalmente o efeito de híbrido aleatório e de safra fixo.

$$Y_{ijk} = \mu + h_i + s_j + b_{k(j)} + hs_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} produção total (Kg/ha) de híbridos de milho i, na safra j, no bloco k.

μ : Constante associada a todas as observações;

S_j : efeito da safra j – Efeito Fixo;

h_i : efeito do híbrido de milho i - $h_i \sim N(0, \sigma_h^2)$ – Efeito aleatório;

$b_{k(j)}$: efeito do bloco k dentro da safra j – Efeito Fixo;

hs_{ij} : efeito da interação do híbrido i com a safra j – $N(0, \sigma_{hs}^2)$ Efeito aleatório

ε_{ijk} : efeito do erro experimental associado à espécie de eucalipto i, do bloco j, na safra k.

d) Proceda a análise de variância conjunta utilizando as médias ajustadas das análises por safra. Discuta o resultado.

Tabela 10. Tabela de análise de variância (ANAVA) da produção de híbridos de milho nas diferentes épocas de safra e safrinha.

FV	GL	SQ	QM	F value	p-value(>F)
Safra	1	37377198	37377198	26,08609	1,66x10-06***
Tratamiento	15	14291120	952741,3	0,664932	0,812
Trat x Safra	15	13442092	896139,5	0,625429	0,847
Erro	96	137552640	1432840		
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Pode-se observar que entre épocas de colheita possui diferenças significativas isto permite dizer que estas épocas interferem na produção de híbridos

e) Estime os componentes de variância associado aos híbridos nas análises individuais e conjunta e o componente de interação safra x híbrido. Veja a relação entre estes componentes.

Variância dos híbridos na Safra

$$\sigma_h^2 = \frac{2857486 - 1716047}{4} = 285359,8$$

Variância de híbrido Safrinha

$$\sigma_h^2 = \frac{4415515 - 1149633}{4} = 816470,5$$

Variância de híbrido Conjunta

$$\sigma_h^2 = \frac{3807250 - 3465751}{4 * 2} = 42687,47$$

f) De acordo com o artigo Resende e Alves (2022) Statistical significance, selection, accuracy, and experimental precision in plant breeding. Crop Breeding and Applied Biotechnology, estime as acurácias seletivas na média dos híbridos em cada safra e também a partir dos ensaios multisafras.

Os autores descrevem uma nova classificação das acurácias de um experimento baseado aos níveis de significância ou p-value, em esse caso eles descrevem que a acurácia seletiva esta correlacionada com o p-value, por tanto:

Acurácia Seletiva Safra

O p-value encontrado para os cultivares foi de aproximadamente 0,16 por tanto segundo a classificação dos autores o experimento possui uma acurácia seletiva de 0,69, por tanto a precisão do experimento foi moderadamente alta.

Acurácia Seletiva Safrinha

O p-value das cultivares foi de aproximadamente 0,001, por tanto, segundo os autores a acurácia seletiva é de 0.95, que significa que a precisão do experimento foi muito alta.

Acurácia Seletiva Conjunta

Nesse caso se obteve que o p-value foi maior a 0.25 por tanto tem uma seleção pouco precisa menor a 0.5. No entanto segundo o p-value do ambiente, que influi diretamente nos híbridos, foi de aproximadamente de 0.000001, nesse caso a acurácia seletiva é aproximadamente 0.95, tendo uma precisão muito alta.

Safrinha															
1ª Repetição				2ª Repetição				3ª Repetição				4ª Repetição			
Rep	Bloco	Trat	Peso	Rep	Bloco	Trat	Peso	Rep	Bloco	Trat	Peso	Rep	Bloco	Trat	Peso
1	1	1	5827	2	1	1	7654	3	1	1	5096	4	1	1	6408
1	1	2	5870	2	1	5	5784	3	1	6	5827	4	1	7	6988
1	1	3	4150	2	1	9	5117	3	1	11	7138	4	1	12	4924
1	1	4	4365	2	1	13	4300	3	1	16	6601	4	1	14	5311
1	2	5	5977	2	2	2	3612	3	2	2	7719	4	2	2	7095
1	2	6	6149	2	2	6	6085	3	2	5	6149	4	2	8	4773
1	2	7	3763	2	2	10	4214	3	2	12	4064	4	2	11	9826
1	2	8	2462	2	2	14	3655	3	2	15	4924	4	2	13	5891
1	3	9	3225	2	3	3	5956	3	3	3	6257	4	3	3	4472
1	3	10	5676	2	3	7	5074	3	3	8	6450	4	3	5	5031
1	3	11	4859	2	3	11	7654	3	3	9	5655	4	3	10	6128
1	3	12	6128	2	3	15	5784	3	3	14	6192	4	3	16	4580
1	4	13	6429	2	4	4	5655	3	4	4	1484	4	4	4	5182
1	4	14	3440	2	4	8	4236	3	4	7	4838	4	4	6	7418
1	4	15	4515	2	4	12	5160	3	4	10	5225	4	4	9	8708
1	4	16	3956	2	4	16	2107	3	4	13	6923	4	4	15	5934

Safrinha															
1ª Repetição				2ª Repetição				3ª Repetição				4ª Repetição			
Rep	Bloco	Trat	Peso	Rep	Bloco	Trat	Peso	Rep	Bloco	Trat	Peso	Rep	Bloco	Trat	Peso
1	1	1	2300	2	1	1	2275	3	1	1	3000	4	1	1	2425
1	1	2	3950	2	1	5	4600	3	1	6	3400	4	1	7	3050
1	1	3	3975	2	1	9	1437	3	1	11	2125	4	1	12	2475
1	1	4	5750	2	1	13	6000	3	1	16	5250	4	1	14	3775
1	2	5	5200	2	2	2	3125	3	2	2	4100	4	2	2	6900
1	2	6	2550	2	2	6	2575	3	2	5	2575	4	2	8	4100
1	2	7	2050	2	2	10	3175	3	2	12	2125	4	2	11	4225
1	2	8	2550	2	2	14	1125	3	2	15	1925	4	2	13	5325
1	3	9	1150	2	3	3	2000	3	3	3	3825	4	3	3	3250
1	3	10	3550	2	3	7	3725	3	3	8	4125	4	3	5	5050
1	3	11	4050	2	3	11	4475	3	3	9	1725	4	3	10	1675
1	3	12	3250	2	3	15	2325	3	3	14	3475	4	3	16	2025
1	4	13	6200	2	4	4	3750	3	4	4	3425	4	4	4	4400
1	4	14	2600	2	4	8	4850	3	4	7	1700	4	4	6	1275
1	4	15	1975	2	4	12	1550	3	4	10	1850	4	4	9	1625
1	4	16	2200	2	4	16	2475	3	4	13	4900	4	4	15	5850

