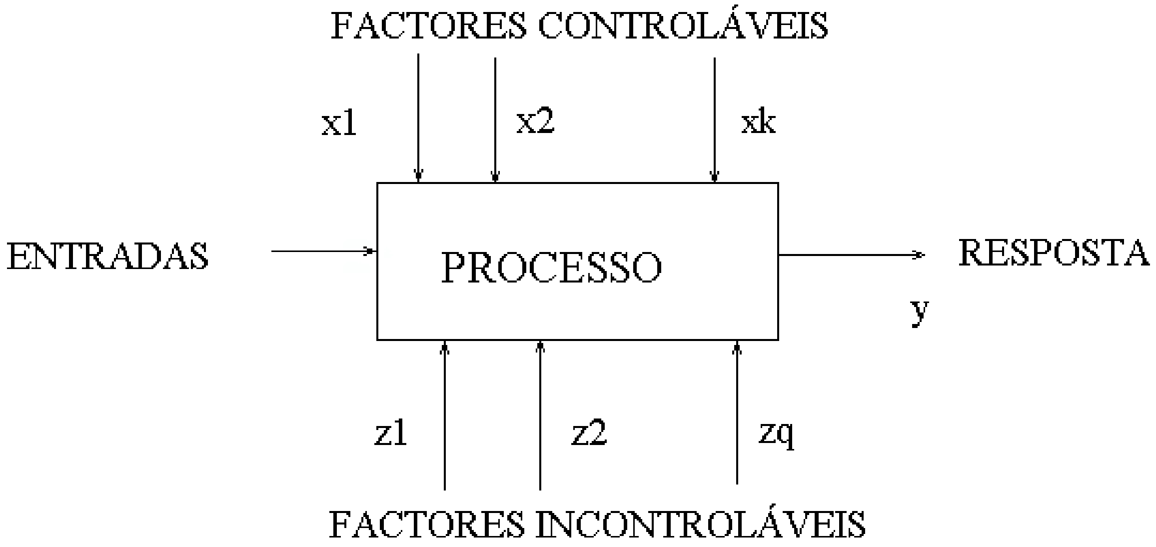
PLANIFICAÇÃO FACTORIAL

UM PROCESSO OU SISTEMA PODE SER REPRESENTADO POR UM MODELO:



OBJECTIVOS DA EXPERIÊNCIA:

1. DETERMINAR QUAL (AIS) DA (S) VARIÁVEL (EIS) x's INFLUENCIA (M) MAIS A RESPOSTA, y.
2. DETERMINAR COMO É POSSÍVEL MANIPULAR A (S) VARIÁVEL (EIS) x's DE TAL MODO QUE y ESTEJA SEMPRE PRÓXIMO DO SEU VALOR NOMINAL.
3. DETERMINAR COMO É POSSÍVEL MANIPULAR A (S) VARIÁVEL (EIS) x's DE TAL MODO QUE A VARIABILIDADE DE y SEJA PEQUENA.
4. DETERMINAR COMO É POSSÍVEL MANIPULAR A (S) VARIÁVEL (EIS) x's DE TAL MODO QUE O EFEITO DAS VARIÁVEIS INCONTROLÁVEIS z's SEJAM MINIMIZADAS.

A UTILIZAÇÃO DA PLANIFICAÇÃO EXPERIMENTAL PODE RESULTAR EM:

- ❖ AUMENTO DE RENDIMENTOS DE UM PROCESSO.
- ❖ REDUÇÃO DA VARIABILIDADE DE REQUISITOS NOMINAIS.
- ❖ REDUÇÃO DO TEMPO DE IMPLEMENTAÇÃO DO PROCESSO.
- ❖ REDUÇÃO DE CUSTOS.

A UTILIZAÇÃO DA PLANIFICAÇÃO EXPERIMENTAL PODE TOMAR ASPECTOS MUITO IMPORTANTES NA ACTIVIDADE DO ENGENHEIRO, QUANDO SE PRETENDEM DESENVOLVER NOVOS PRODUTOS OU PROCESSOS OU IMPLEMENTAR OS JÁ EXISTENTES, INCLUINDO, POR EXEMPLO:

- ❖ AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO DE CONFIGURAÇÕES BÁSICAS DE PROJECTO.
- ❖ AVALIAÇÃO DE ALTERAÇÕES NO MATERIAL.
- ❖ SELECÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJECTO, DE TAL MODO QUE O PRODUTO SEJA *ROBUSTO*, OU SEJA, PARA UMA GRANDE VARIEDADE DE CONDIÇÕES, O PROCESSO TRABALHE BEM.
- ❖ AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS CHAVE QUE PRODUZAM BONS RENDIMENTOS PARA O PRODUTO.

MUITAS EXPERIÊNCIAS ENVOLVEM O ESTUDO DE EFEITOS DE VÁRIOS FACTORES.
EM GERAL A PLANIFICAÇÃO FACTORIAL É MAIS EFICIENTE NESTE TIPO DE EXPERIÊNCIAS.

O EFEITO DE UM FACTOR É A VARIAÇÃO NA RESPOSTA PRODUZIDA PELA VARIAÇÃO NO NÍVEL DO FACTOR.

A **PLANIFICAÇÃO FACTORIAL** PERMITE VERIFICAR E EFECTUAR O ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE 1, 2, 3, ..., k FACTORES.

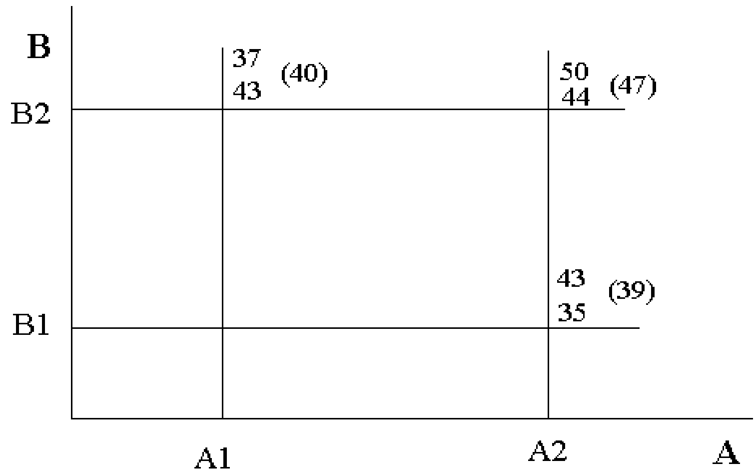
NUM **ESTUDO CLÁSSICO**, O QUE NORMALMENTE SE FAZ, É CONSIDERAR FACTORES CONSTANTES, ENQUANTO SE ANALISA A INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE UM DADO FACTOR NO RESULTADO.

PELO CONTRÁRIO, NUM ESTUDO FACTORIAL, COM A AJUDA DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA, TODA A INFORMAÇÃO PODE SER OBTIDA SIMULTANEAMENTE.

CONSIDEREMOS DUAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES, **A** E **B**, QUE INFLUENCIAM OS VALORES DA VARIÁVEL DEPENDENTE (RESPOSTA).

ESTES **FACTORES** **A** E **B**, SÃO INVESTIGADOS A DOIS NÍVEIS **(A_1 E A_2)** E **(B_1 E B_2)** E OS TESTES SÃO REPETIDOS PARA OBTER UM CERTO NÚMERO DE OBSERVAÇÕES.

OS VALORES OBTIDOS VÃO-NOS PERMITIR OBTER INFORMAÇÕES ACERCA DA SUA INFLUÊNCIA NO VALOR DA RESPOSTA.



ESTES RESULTADOS PERMITEM DIZER QUE, QUANDO **B** SE MANTÉM NO NÍVEL B_2, A RESPOSTA TEM O VALOR MÉDIO DE 47, QUANDO **A** TOMA O VALOR MAIS ELEVADO A_2, E O VALOR DA RESPOSTA É 40, QUANDO A VARIÁVEL **A** ESTÁ NO NÍVEL MAIS BAIXO A_1.

ISTO INDICA QUE EXISTE UMA VARIAÇÃO DE 7, QUANDO A VARIÁVEL **A** VAI DO VALOR MAIS BAIXO PARA O VALOR MAIS ELEVADO. ESTA VARIAÇÃO DESIGNA-SE POR **EFEITO A**.

DE IGUAL MODO, QUANDO **A** SE MANTÉM NO NÍVEL A_2, A RESPOSTA TEM O VALOR MÉDIO DE 39, QUANDO **B** TOMA O VALOR MAIS BAIXO B_1.

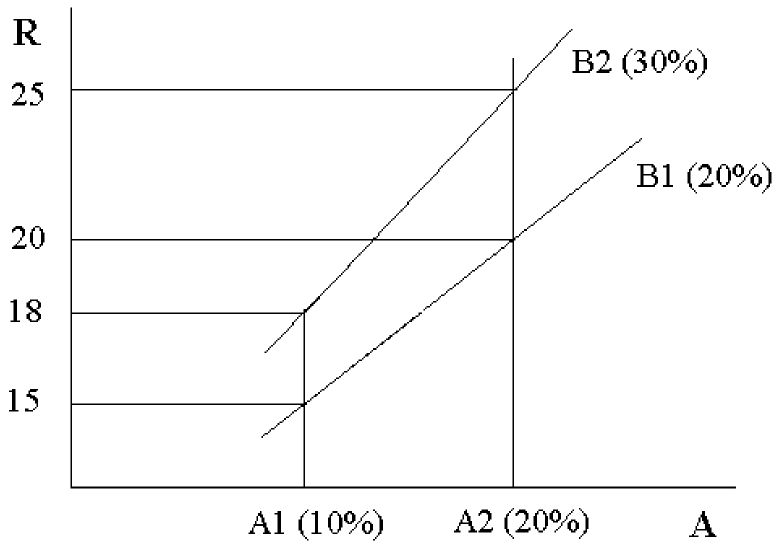
ISTO INDICA QUE EXISTE UMA VARIAÇÃO DE 8, QUANDO A VARIÁVEL **B** VAI DO VALOR MAIS BAIXO PARA O VALOR MAIS ELEVADO. ESTA VARIAÇÃO DESIGNA-SE POR **EFEITO B**.

COMO O EFEITO DE **B** É MAIOR QUE O EFEITO DE **A**, A VARIÁVEL **B** É A VARIÁVEL MAIS IMPORTANTE.

EMBORA ESTE TESTE CLÁSSICO AVALIE O EFEITO DE **A** E DE **B**, NÃO NOS REVELA:

- OS INTERVALOS DE CONFIANÇA DOS EFEITOS **A** E **B**.
- OS ERROS EXPERIMENTAIS NOS DADOS.
- O EFEITO DE INTERACÇÕES ENTRE OS DOIS FACTORES.

INTERACÇÃO ENTRE FACTORES



O VALOR DA RESPOSTA AUMENTA DE 15 PARA 20 (5 UNIDADES) QUANDO O FACTOR **B** TOMA O VALOR B_1 (20 %), E O FACTOR **A** VARIA DE 10 PARA 20 %.

NO ENTANTO, QUANDO O FACTOR **B** TOMA O VALOR B_2 (30 %), E O FACTOR **A** VARIA DE 10 PARA 20 %, O VALOR DA RESPOSTA VARIA 7 UNIDADES (25-18).

ISTO INDICA A PRESENÇA DE INTERACÇÃO ENTRE OS FACTORES **A** E **B**.

SE, NO SEGUNDO CASO, A VARIAÇÃO NA RESPOSTA FOSSE IGUALMENTE 5 UNIDADES, NÃO SE PODERIA DIZER QUE HOUVESSE INTERACÇÃO.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A PLANIFICAÇÃO FACTORIAL

QUANDO VÁRIAS FONTES DE VARIAÇÃO ESTÃO PRESENTES NUM CONJUNTO DE OBSERVAÇÕES, A VARIÂNCIA (E NÃO O DESVIO PADRÃO) DAS OBSERVAÇÕES É A SOMA DAS VARIÂNCIAS DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES.

COMO A ANÁLISE DE VARIÂNCIA É BASEADA NAS LEIS DE PROBABILIDADE, AS EXPERIÊNCIAS DEVEM SER CONDUZIDAS DE TAL MODO QUE A INFLUÊNCIA DE TODAS AS VARIÁVEIS SEJA DISTRIBUÍDA ALEATORIAMENTE.

SUPONHAMOS QUE **k** AMOSTRAS, CADA UMA COM **p** ENSAIOS SÃO TIRADAS AO ACASO DUMA POPULAÇÃO HOMOGÉNEA COM DISTRIBUIÇÃO NORMAL. A VARIÂNCIA $\mathbf{s^2}$ PARA CADA AMOSTRA É CALCULADA COMO UMA ESTIMATIVA DA VARIÂNCIA DA POPULAÇÃO $\mathbf{s}^{2}$.

	AMOSTRA 1	2	3	...	i	k	
p OBSERV. EM CADA AMOSTRA	x_{11}	x_{21}	x_{31}		x_{i1}	x_{k1}	
	x_{12}	x_{22}	x_{32}		x_{i2}	x_{k2}	
	x_{13}	x_{23}	x_{33}		x_{i3}	x_{k3}	
			....				
	x_{1j}	x_{2j}	x_{3j}		x_{ij}	x_{kj}	
			....				
	x_{1p}	x_{2p}	x_{3p}		x_{ip}	x_{kp}	
	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	$\bar{x}_3$		$\bar{x}_i$	$\bar{x}_k$	$\bar{X}$
	s_1^2	s_2^2	s_3^2		s_i^2	s_k^2	

A VARIÂNCIA s^2 PARA CADA UMA DAS k AMOSTRAS, COM p OBSERVAÇÕES, É:

$$s_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^{p} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{p - 1}$$

A MÉDIA DE TODAS AS s_i^2 É UMA ESTIMATIVA DE σ^2:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{k} s_i^2}{k}$$

σ^2 PODE TAMBÉM SER DETERMINADA POR:

$$s^2 = p\, s_{\bar{x}}^2 = \frac{n \sum \left(\bar{x}_i - \bar{X}\right)^2}{k - 1}$$

n - Nº TOTAL DE ENSAIOS

ANÁLISE A UM FACTOR

SE A POPULAÇÃO A PARTIR DA QUAL FORAM TIRADAS AS AMOSTRAS NÃO FOR HOMOGÉNEA, E EXISTIREM DIFERENÇAS ENTRE AS AMOSTRAS; ISTO É SUPONHA-SE QUE A_1, A_2, ... A_k SÃO NÍVEIS DO MESMO FACTOR A, E QUER-SE DETERMINAR O EFEITO DESTES NÍVEIS NA VARIÁVEL x.

A VARIAÇÃO DENTRO DAS AMOSTRAS É DEVIDA À VARIAÇÃO DENTRO DA POPULAÇÃO, MAS OS VALORES MÉDIOS DAS AMOSTRAS VARIAM TAMBÉM DEVIDO ÀS DIFERENÇAS ENTRE AS AMOSTRAS.

	FACTOR A					
	A_1	A_2	A_3 ...	A_i	A_k	
p OBSERV. EM CADA AMOSTRA	$x_{11}+W_1$	$x_{21}+W_2$	$x_{31}+W_3$	$x_{i1}+W_i$	$x_{k1}+W_k$	
	$x_{12}+W_1$	$x_{22}+W_2$	$x_{32}+W_3$	$x_{i2}+W_i$	$x_{k2}+W_k$	
	....					
	$x_{1j}+W_1$	$x_{2j}+W_2$	$x_{3j}+W_3$	$x_{ij}+W_i$	$x_{kj}+W_k$	
	....					
	$x_{1p}+W_1$	$x_{2p}+W_2$	$x_{3p}+W_3$	$x_{ip}+W_i$	$x_{kp}+W_k$	
	$\bar{x}_1+W_1$ s_1^2	$\bar{x}_2+W_2$ s_2^2	$\bar{x}_3+W_3$ s_3^2	$\bar{x}_i+W_i$ s_i^2	$\bar{x}_k+W_k$ s_k^2	$\bar{X}+\bar{W}$

A MÉDIA PARA O NÍVEL A_1 É:

$$\frac{\sum_{j=1}^{p}\left(x_{1j}+W_1\right)}{p}=\frac{\sum_{j=1}^{p}x_{1j}}{p}+\frac{\sum W_1}{p}=\bar{x}_1+\frac{p\,W_1}{p}=\bar{x}_1+W_1$$

A VARIÂNCIA PARA O NÍVEL A_1 É:

$$\sum_{j=1}^{p}\frac{\left[\left(x_{1j}+W_1\right)-\left(\bar{x}_1-W_1\right)\right]^2}{p-1}=\frac{\sum_{j=1}^{p}\left(x_{1j}-\bar{x}_1\right)}{p-1}$$

A PRESENÇA DAS DIFERENÇAS W NÃO AFECTA A VARIÂNCIA σ^2, ONDE O FACTOR W NÃO ESTAVA PRESENTE.
AS DIFERENÇAS W AFECTARÃO AS NOVAS MÉDIAS QUADRÁTICAS DAS MÉDIAS DAS AMOSTRAS $\left[\left(\sigma^2_{\bar{x}}\right)'\right]$:

$$\left[\left(\sigma^2_{\bar{x}}\right)'\right] = \frac{\sum\left[\left(\bar{x}_i + w_i\right) - \left(\bar{\bar{x}} + \bar{w}\right)\right]^2}{k - 1}$$

$$= \frac{\sum\left[\left(\bar{x}_i - \bar{\bar{x}}\right) + \left(w_i - \bar{w}\right)\right]^2}{k - 1} =$$

$$= \frac{\sum\left(\bar{x}_i - \bar{\bar{x}}\right)^2}{k - 1} + \frac{\sum\left(w_i - \bar{w}\right)^2}{k - 1} + \frac{2\sum\left(\bar{x}_i - \bar{\bar{x}}\right)\left(w_i - \bar{w}\right)}{k - 1}$$

OU SEJA:

$$\left(\sigma^2_{\bar{x}}\right)' = \sigma^2_{\bar{x}} + \sigma^2_W$$

OU:

$$n\left(\sigma^2_{\bar{x}}\right)' = n\,\sigma^2_{\bar{x}} + n\,\sigma^2_W$$

OU:

$$n\left(\sigma^2_{\bar{x}}\right)' = \sigma^2 + n\,\sigma^2_W$$

OU:

VARIÂNCIA TOTAL = VARIÂNCIA DENTRO DAS AMOSTRAS + VARIÂNCIA ENTRE AS MÉDIAS DAS AMOSTRAS

$$\text{MS (MÉDIAS QUADRÁTICAS)} = \frac{\text{SS (SOMA DOS QUADRADOS)}}{\text{N}^{\text{o}}\ \text{DE GRAUS DE LIBERDADE}}$$

QUANDO SÓ UM FACTOR (OU VARIÁVEL) A VÁRIOS NÍVEIS É INVESTIGADO:

$$SS_{total} = \sum x^2 - \frac{T^2}{n}$$

EM QUE:

$\sum x^2$ = A SOMA DOS QUADRADOS DE TODAS AS OBSERVAÇÕES
T = SOMA TOTAL DE TODAS AS OBSERVAÇÕES
n = NÚMERO TOTAL DE OBSERVAÇÕES

$$SS_c = \text{SS entre médias de colunas} = \frac{\sum T_c^2}{p} - \frac{T^2}{n}$$

T_c = TOTAL DE CADA NÍVEL
c = NÚMERO DE NÍVEIS
p = NÚMERO DE OBSERVAÇÕES EM CADA NÍVEL

$$SS_{residual} = SS_{total} - SS_c$$

A VARIAÇÃO TOTAL É A SOMA DAS VARIAÇÕES DENTRO DE CADA NÍVEL COM AS VARIAÇÕES ENTRE NÍVEIS.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) NA PLANIFICAÇÃO A UM FACTOR

FONTE DE VARIAÇÃO	G. L.	QUADRADOS DOS DESVIOS (SS)	VARIÂNCIAS OU MÉDIAS QUADRÁTICAS (MS)	F_0
NÍVEIS	v-1	$SS_v = \frac{\sum T_v^2}{p} - \frac{T^2}{n}$	$= \frac{SS_v}{v-1}$	$\frac{MS}{MS_{residual}}$
RESIDUAL	(n-1)-(v-1)	$SS_{residual} = SS_{total} - SS_v$	$\frac{SS_{residual}}{(n-1)-(v-1)}$	
TOTAL	n-1	$SS_{total} = \sum x^2 - \frac{T^2}{n}$		

A COMPARAÇÃO DE $\mathbf{F_0}$ COM OS VALORES DE **F** TABELADOS PERMITE ANALISAR COM QUE PROBABILIDADE HÁ OU NÃO HÁ DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ENTRE AS COLUNAS, OU, COM Z % DE PROBABILIDADE HÁ ALGUMA DIFERENÇA SIGNIFICATIVA ENTRE OS NÍVEIS DE ENSAIO.

EXEMPLO F1

UM ENGENHEIRO ESTÁ INTERESSADO EM MAXIMIZAR A TENSÃO DE UMA NOVA FIBRA SINTÉTICA PARA SER USADA NA FEITURA DE CAMISOLAS DE HOMEM. É CONHECIDO QUE ESSA TENSÃO É INFLUENCIADA PELA PERCENTAGEM DE ALGODÃO (SUSPEITA-SE QUE O AUMENTO DA QUANTIDADE DE ALGODÃO AUMENTA A TENSÃO). SABE-SE TAMBÉM QUE A QUANTIDADE DE ALGODÃO DEVE VARIAR ENTRE 10 E 40 %, PARA MANTER A QUALIDADE.

ASSIM DECIDIU TESTAR 5 NÍVEIS DE PERCENTAGEM DE ALGODÃO: 15, 20, 25, 30 E 35 %. DECIDIU IGUALMENTE EFECTUAR 5 TESTES A CADA NÍVEL DE PERCENTAGEM DE ALGODÃO.

É UM EXEMPLO DE PLANIFICAÇÃO A **UM FACTOR** COM 5 NÍVEIS E 5 REPETIÇÕES EM CADA NÍVEL. AS 25 OBSERVAÇÕES DEVEM SER EFECTUADAS AO ACASO.

OS RESULTADOS OBTIDOS FORAM:

TENSÃO (ATM.)

ALGODÃO (%)	OBSERVAÇÕES					SOMAS	MÉDIAS
	1	2	3	4	5		
15	0,48	0,48	1,02	0,75	0,61	3,34	0,667
20	0,82	1,16	0,82	1,22	1,22	5,24	1,05
25	0,95	1,22	1,22	1,29	1,29	5,99	1,20
30	1,29	1,70	1,50	1,29	1,56	7,34	1,47
35	0,48	0,68	0,75	1,02	0,75	3,68	0.73
TOTAL						T=25,58	1.02

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA):

FONTE DE VARIAÇÃO	G. L.	QUADRADOS DOS DESVIOS (SS)	VARIÂNCIAS OU MÉDIAS QUADRÁTICAS (MS)	F_0
PERCENTAGEM DE ALGODÃO	v-1 = 4	$SS_v = 2{,}209$ $\frac{\sum T_c^2}{p} - \frac{T^2}{n}$	2,209/4 = 0,55225	
RESIDUAL	(n-1) - (v-1) = 20	$SS_{residual} = 0{,}688$	0,0344	16,05
TOTAL	n-1 = 24	$SS_{total} = 2{,}897$		

COMPARANDO **16,05** COM O VALOR TABELADO **($F_{0,01;4:20}$ = 4,43),** COMO É MAIOR, PODEMOS DIZER, PARA UMA CONFIANÇA DE **99 %,** QUE A PERCENTAGEM DE ALGODÃO NA FIBRA **AFECTA SIGNIFICATIVAMENTE A TENSÃO DO TECIDO**.

EXEMPLO F2

FOI FEITA UMA INVESTIGAÇÃO SOBRE O EFEITO DE 3 MODOS DIFERENTES DE CONDICIONAMENTO NA RESISTÊNCIA (P_a) DE TIJOLOS. ASSIM, FORAM RETIRADOS 15 TIJOLOS E ACONDICIONADOS ALEATORIAMENTE DAS 3 MANEIRAS, OBTENDO-SE OS SEGUINTES RESULTADOS:

RESISTÊNCIA (P_a)

	1	2	3	4	5	SOMAS	MÉDIAS
NÍVEL 1	553	550	568	541	537	2749	549,8
NÍVEL 2	553	599	579	545	540	2816	563,2
NÍVEL 3	492	530	528	510	571	2631	526,2
TOTAL						T=8196	546,4

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA):

FONTE DE VARIAÇÃO	G. L.	QUADRADOS DOS DESVIOS (SS)	VARIÂNCIAS OU MÉDIAS QUADRÁTICAS (MS)	F_0
ACONDICIO-NAMENTO	v-1 = 2	SS_v = 3509.2	3509,2/2 = 1754,6	3,22
RESIDUAL	(n-1) -(v-1) = 12	$SS_{residual}$ = 6544,4	545,37	
TOTAL	n-1 = 14	SS_{total} = 10053,6		

COMPARANDO **3,22** COM O VALOR TABELADO **($F_{0,01;2:12}$ = 6,93),** COMO É MENOR, PODEMOS DIZER, PARA UMA CONFIANÇA DE **99 %,** QUE O CONDICIONAMENTO NÃO AFECTA GRANDEMENTE A RESISTÊNCIA DOS TIJOLOS.

COMPARANDO **3,22** COM O VALOR TABELADO **($F_{0,05;2:12}$ = 3,89),** COMO É MENOR, PODEMOS DIZER, PARA UMA CONFIANÇA DE **95 %,** QUE **O CONDICIONAMENTO NÃO AFECTA GRANDEMENTE A RESISTÊNCIA DOS TIJOLOS (A MÉDIA NÃO É DIFERENTE NOS TRÊS CASOS).**

PLANIFICAÇÃO FACTORIAL A DOIS FACTORES

OS TIPOS MAIS SIMPLES DE PLANIFICAÇÃO FACTORIAL ENVOLVEM APENAS DOIS FACTORES.

HAVERÁ **a** NÍVEIS PARA O FACTOR **A** E **b** NÍVEIS PARA O FACTOR **B** QUE SÃO ARRANJADOS NUMA PLANIFICAÇÃO FACTORIAL, ISTO É, CADA RÉPLICA DA EXPERIÊNCIA TERÁ QUE CONTER TODAS AS **ab** COMBINAÇÕES.

EM GERAL HAVERÁ **p** RÉPLICAS.

ARRANJO GERAL PARA A ANÁLISE DE DOIS FACTORES

			COLUNAS				
			FACTOR B				
LINHAS	FACTOR A		1	2	...	b	T_r
		1	$x_{111},...,x_{11p}$	$x_{121},...,x_{12p}$		$x_{1b1},...,x_{1bp}$	L_1
		2	$x_{211},...,x_{21p}$	$x_{221},...,x_{22p}$		$x_{2b1},...,x_{2bp}$	L_2
		...					
		a	$x_{a11},...,x_{a1p}$	$x_{a21},...,x_{a2p}$		$x_{ab1},...,x_{abp}$	L_a
		T_c	C_1	C_2		C_b	T

r - nº de linhas	c - nº de colunas
n - nº total de observações	p - nº de réplicas
T_r - soma das linhas	T_c - soma das colunas
$T = \sum x$	T_{cr} - soma de cada célula

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) NA PLANIFICAÇÃO A DOIS FACTOR

FONTE DE VARIAÇÃO	G. L.	QUADRADOS DOS DESVIOS (SS)	VARIÂNCIAS OU MÉDIAS QUADRÁTICAS (MS)	F_0
LINHAS	r-1	$SSr = \frac{\sum T_r^2}{p\,c} - \frac{T^2}{n}$	$= \frac{SS_c}{r - 1}$	$\frac{MS_r}{MS_{residual}}$
COLUNAS	c-1	$SS_c = \frac{\sum T_c^2}{p\,r} - \frac{T^2}{n}$	$= \frac{SS_c}{c - 1}$	$\frac{MS_c}{MS_{residual}}$
INTERACÇÃO LINHAS-COLUNAS	(c-1) (r-1)	$SS_{cr} = \frac{\sum T_{cr}^2}{p} - \frac{T^2}{n} - SS_c - SS_r$	$= \frac{SS_{cr}}{(c-1)\,(r-1)}$	$\frac{MS}{MS_{residual}}$
RESIDUAL	(n-1)- S (outros)	$SS_{resid} = SS_{total} - SS_c - SS_r - SS_{cr}$	$\frac{SS_{residual}}{(n-1) - (c-1)}$	
TOTAL	n-1	$SS_{total} = \sum x^2 - \frac{T^2}{n}$		

A COMPARAÇÃO DOS $\mathbf{F_0}$‘s COM OS VALORES DE **F** TABELADOS PERMITE ANALISAR, PARA Z % DE PROBABILIDADE QUAL (AIS) DOS FACTORES AFECTAM SIGNIFICATIVAMENTE A RESPOSTA.

QUANDO p=1, OU SEJA, QUANDO EM CADA CÉLULA NÃO HÁ ENSAIOS REPETIDOS, A ANÁLISE DE VARIÂNCIA SIMPLIFICA-SE, PORQUE DEIXA DE EXISTIR A INTERACÇÃO LINHAS-COLUNAS.

EXEMPLO F3

OS TESTES DE RESISTÊNCIA DE PEÇAS DE SILICONE SÃO NORMALMENTE REALIZADOS A UMA INTENSIDADE DE CORRENTE **I** E À PRESSÃO DE 150 Pa.

PRETENDE-SE ANALISAR O QUE ACONTECE SE SE USAREM DIFERNTES VALORES DE CORRENTE E DE PRESSÃO NOS VALORES DA RESISTÊNCIA DAS PEÇAS.

PARA ISSO UTILIZARAM-SE 4 NÍVEIS DE PRESSÃO (25, 50, 100 E 150) E 5 NÍVEIS DE INTENSIDADE DE CORRENTE (1, 2, 3, 4 E 5) EM QUE O NÍVEL 3 CORRESPONDE AO PADRÃO **I**.

NÃO SE EFECTUARAM RÉPLICAS PARA CADA COMBINAÇÃO PRESSÃO/CORRENTE.

OS RESULTADOS OBTIDOS SÃO OS SEGUINTES:

	CORRENTE				
PRESSÃO	1	2	3	4	5
25	11.84	11.83	11.84	11.81	11.96
50	11.84	11.88	11.88	11.87	11.90
100	11.77	11.80	11.80	11.81	11.88
150	11.79	11.80	11.80	11.80	11.87

	CORRENTE					
PRESSÃO	1	2	3	4	5	TOTAIS
25	11.84	11.83	11.84	11.81	11.96	L_1=59.28
50	11.84	11.88	11.88	11.87	11.90	59.37
100	11.77	11.80	11.80	11.81	11.88	59.06
150	11.79	11.80	11.80	11.80	11.87	59.06
TOTAIS	C_1=47.24	47.31	47.32	47.29	47.61	T=236.77

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA)

FONTE DE VARIAÇÃO	G. L.	QUADRADOS DOS DESVIOS (SS)	VARIÂNCIAS OU MÉDIAS QUADRÁTICAS (MS)	F_0
LINHAS (PRESSÃO)	r-1=3	$SS_r = \frac{\sum T_r^2}{pc} - \frac{T^2}{n} =$ 14015.0825/5 - 2803.00164	$= \frac{SS_r}{r-1} =$ 0.01486/3=0.004953	$\frac{MS_r}{MS_{residual}}$ =10.68
COLUNAS (CORR.)	c-1=4	$SS_c = \frac{\sum T_c^2}{pr} - \frac{T^2}{n} =$ 11212,0923/4 - 2803.00164	$= \frac{SS_c}{c-1} =$ 0.021435/4=0.00536	$\frac{MS_c}{MS_{residual}}$ =11.56
RESIDUAL	(N-1)- S (outros) = 12	$SS_{resid} = SS_{total} - SS_c - SS_r =$ 0.005565	$\frac{SS_{residual}}{(n-1) - S(outros)}$ 0.005565/12= 0.00046375	
TOTAL	N-1=19	$SS_{total} = \sum x^2 - \frac{T^2}{n} =$ 2803.0435 - 283.00164 = 0.04186		

FACTOR PRESSÃO (LINHAS): $\mathbf{F_{0.10;\,3;\,12} = 2.61}$; $\mathbf{F_{0.05;\,3;\,12} = 3.49}$. QUANDO SE COMPARAM ESTES VALORES COM **10.68**, VERIFICA-SE QUE ESTE É BASTANTE MAIOR; O QUE INDICA QUE A **PRESSÃO TEM UM EFEITO SIGNIFICATIVO NO PROCESSO.**

FACTOR INTENSIDADE DA CORRENTE (COLUNAS): $\mathbf{F_{0.10;\,4;\,12} = 2.48}$; $\mathbf{F_{0.05;\,4;\,12} = 3.26}$. QUANDO SE COMPARAM ESTES VALORES COM **11.56**, VERIFICA-SE QUE ESTE É BASTANTE MAIOR; O QUE INDICA QUE A **INTENSIDADE DE CORRENTE TEM UM EFEITO SIGNIFICATIVO NO PROCESSO.**

TABELA DE EFEITOS

QUANDO OS EFEITOS PROVOCADOS PELOS FACTORES SÃO SIGNIFICATIVOS, DEVE CONSTRUIR-SE A **TABELA DE EFEITOS**

LINHAS	$\overline{L}$	EFEITO $= \overline{L} - \overline{X}$
1	11.856	0.0175
2	11.874	0.0355
3	11.812	-0.0265
4	11.812	-0.0265

COLUNAS	$\overline{C}$	EFEITO $= \overline{C} - \overline{X}$
1	11.810	-0.0285
2	11.828	-0.0110
3	11.830	-0.0085
4	11.823	-0.0160
5	11.903	0.064

$\overline{X} = \frac{T}{n}$ (=236.77 / 20 = 11.8385)

EFEITOS NEGATIVOS INDICAM QUE A RESISTÊNCIA DIMINUI COM A PRESSÃO.

OBSERVAR QUE OS VALORES SÃO MAIS ELEVADOS PARA A COLUNA 5.