

Análise de Repetibilidade e Reprodutibilidade para dados contínuos, plano hierárquico

Nível do artigo: intermediário

Carlos Hugo Domenech
Diretor da MID

Resumo:

Quando as amostras são destrutivas sugere-se a utilização de planos hierárquicos para realizar os estudos de repe e repro. Mostramos que o esquema sugerido pelo Minitab com hierarquia Operador e depois Amostra tem grande chance de produzir resultados inadequados. Mostramos como resolver o problema.

Se agradece a colaboração de Evandro Lutero Alves e Manoel Telhada pela ajuda para a publicação do trabalho.

Planos para estudos da precisão de Sistemas de Medição

Há dois tipos de planos balanceados para determinar a precisão de um sistema de medição:

- Plano cruzado: quando os níveis do fator inferior são iguais para cada nível do fator superior (Figura 1). Somente neste caso é possível avaliar a interação entre os fatores. Este plano é mais conveniente para análise do sistema de medição.
- Plano hierárquico: quando os níveis do fator inferior são diferentes para cada nível do fator superior (Figura 2 e Figura 3). O plano hierárquico recomenda-se usualmente quando as análises são feitas sobre amostras destrutivas, ou seja, quando as mesmas amostras não podem ser analisadas pelos mesmos analistas. Mesmo nesta situação sugerimos que sejam usadas amostras próximas e sejam consideradas idênticas (exemplo, amostras próximas de papel em rolos com quilômetros de comprimento). Nesta situação essa variação de curtíssimo prazo passa a fazer parte da variação do sistema de medição e se pode usar o plano cruzado. Uma outra situação é quando mesmo podendo se fazer várias análises da mesma amostra, os operadores não estão presentes no momento da coleta das amostras e as amostras têm curto tempo de vida. Somente nesta situação recomendamos o uso do plano hierárquico. Veja que neste caso a hierarquia será como na Figura 3, ou seja, as mesmas amostras são analisadas por vários operadores. A plataforma sobre estudos da precisão do Minitab (Gage R&R Study) utiliza o plano hierárquico da Figura 2, o qual pode gerar erros graves na interpretação. A disposição de fatores em um planejamento hierárquico é feita de modo que fatores que englobem outros fiquem em uma posição superior.

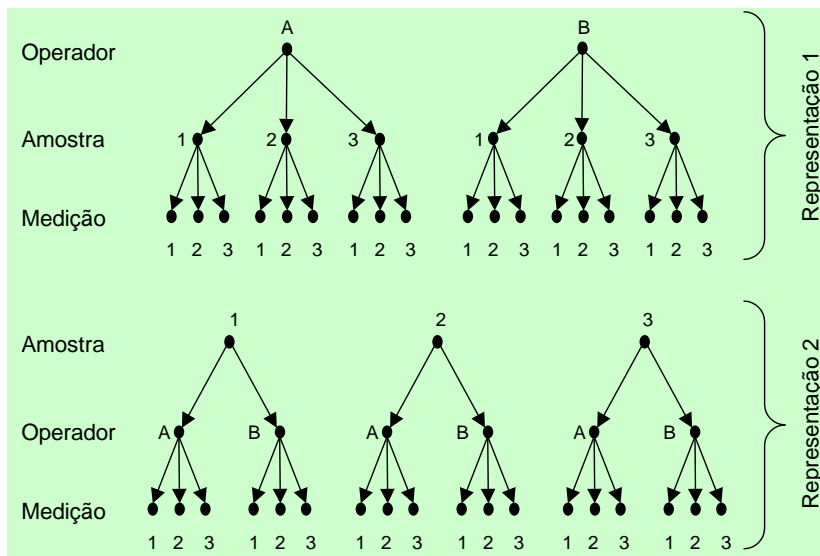


Figura 1 – Plano cruzado com os fatores Operador e Amostra (neste caso o plano pode ser representado de duas formas)

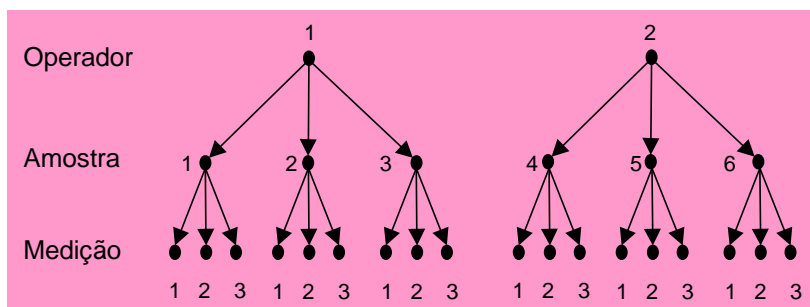


Figura 2 – Plano hierárquico com os fatores Operador e Amostra

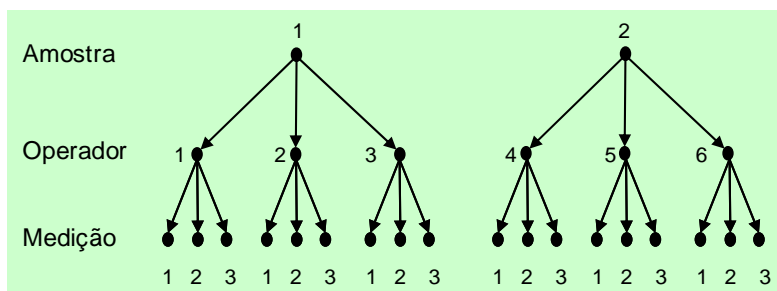


Figura 3 – Plano hierárquico com os fatores Amostra e Operador

Uso inadequado do método hierárquico no Minitab

A Tabela 1 contém os dados de um plano hierárquico usado para determinar a variabilidade de um método de medição de Alvura (em papel). O diagrama de árvore deste plano foi desenhado na Figura 4. A Figura 5 contém o gráfico run chart feito em “Stat\Quality Tools\Gage Study\Gage Run Chart”. Observe que cada operador fez análise de amostras diferentes. Por este motivo pode-se esperar que as amostras apresentem diferenças. Analisamos este plano no procedimento “Stat\Quality Tools\Gage Study\Gage R&R Study (Nested)...” considerando LSL = 89,1 (= lower specification limit), média histórica do processo = 90,5 e desvio padrão histórico de curto prazo = 0,496 (Figura 6). Os resultados estão na Figura 7. Como a especificação é unilateral usamos 3 desvios padrão como multiplicador para o cálculo da %P/T e a largura da especificação foi calculada como média histórica – LSL = 90,5 – 89,1 = 1,4. As regras de decisão para determinar se o método é adequado estão na Figura 8.

Tabela 1 – Dados de medição de alvura. Plano hierárquico Operador (5) e Amostra (3) conforme esquema sugerido pelo Minitab

Ocasião	Operador	Amostra	Alvura
1	C	1	90,18
1	C	1	90,24
1	C	1	90,23
2	C	2	90,12
2	C	2	90,06
2	C	2	90,03
3	C	3	90,68
3	C	3	90,71
3	C	3	90,70
4	A	1	91,18
4	A	1	91,12
4	A	1	91,08
5	A	2	90,68
5	A	2	89,63
5	A	2	89,61
6	A	3	90,42
6	A	3	90,46
6	A	3	90,51
7	B	1	89,74
7	B	1	89,71
7	B	1	89,48
8	B	2	89,92
8	B	2	89,87
8	B	2	89,89
9	B	3	89,41
9	B	3	89,38
9	B	3	89,12
10	D	1	90,40
10	D	1	90,52
10	D	1	90,32
11	D	2	90,00
11	D	2	90,17
11	D	2	90,00
12	D	3	90,65
12	D	3	90,65
12	D	3	90,91
13	E	1	90,05
13	E	1	90,08
13	E	1	90,14
14	E	2	89,89
14	E	2	89,95
14	E	2	89,88
15	E	3	89,52
15	E	3	89,55
15	E	3	89,51

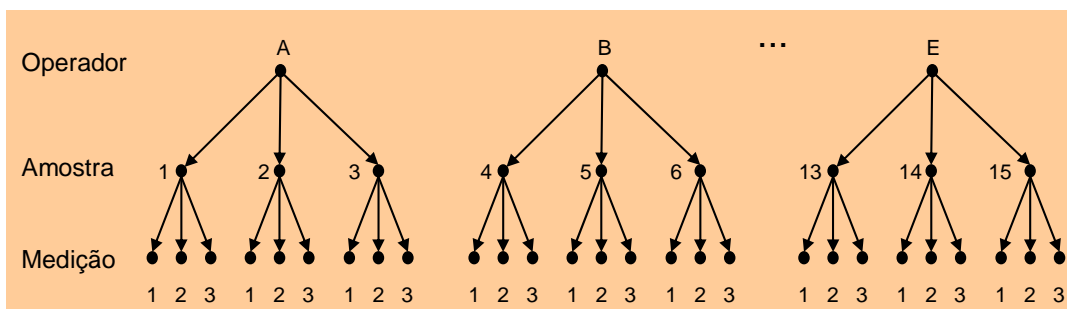


Figura 4 – Método hierárquico usado para validar método de medição de alvura

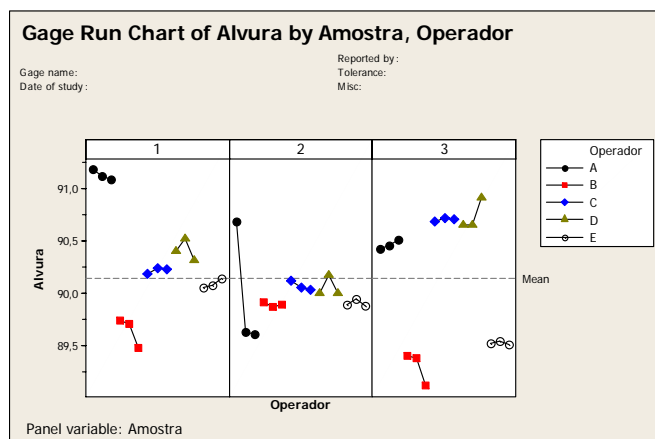


Figura 5 – Gráfico run chart com o plano hierárquico da Figura 4

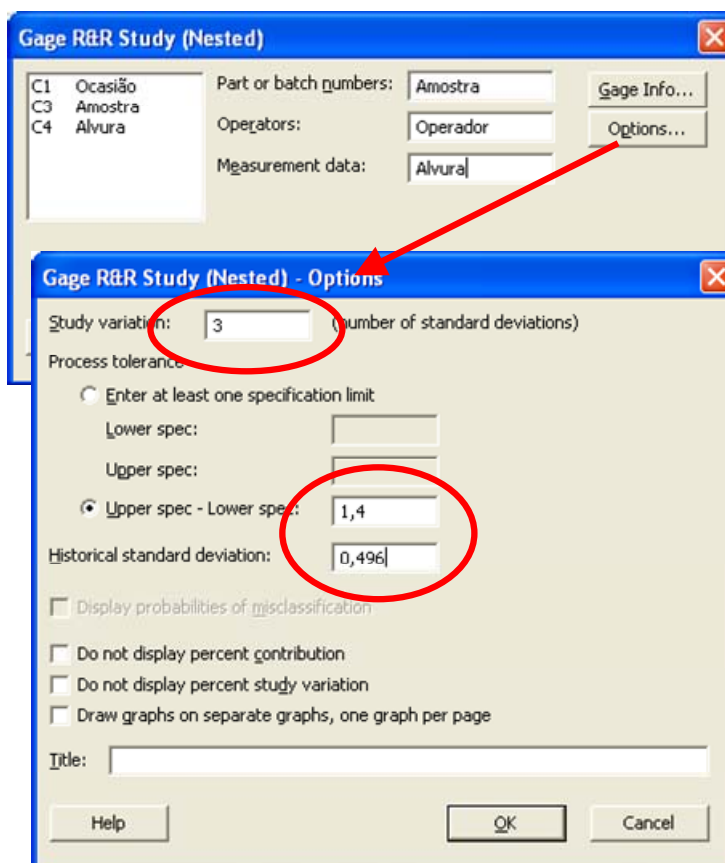


Figura 6 – Método hierárquico com os dados da Tabela 1

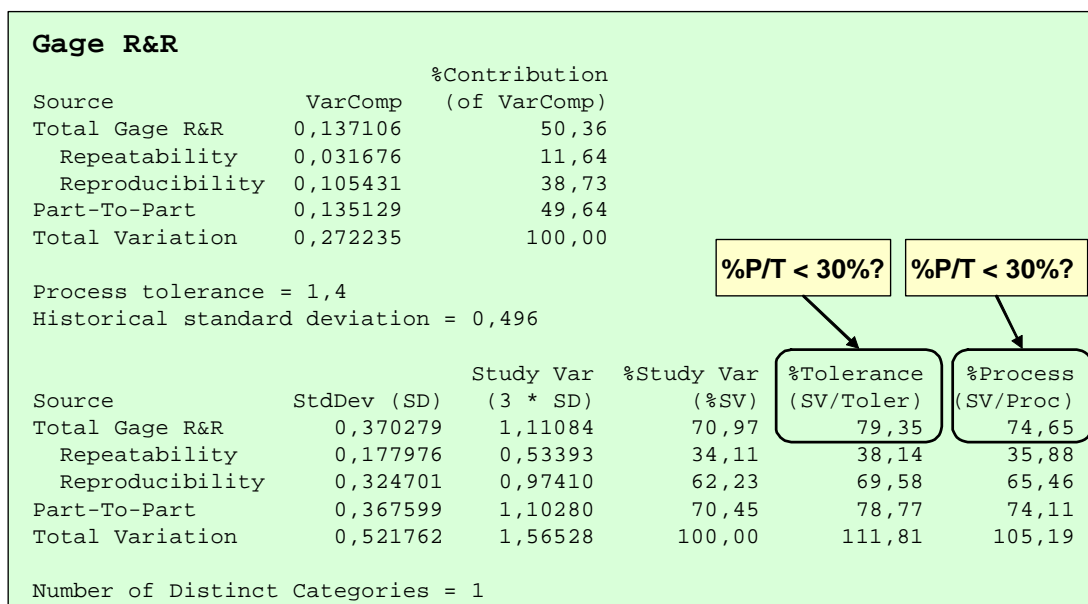


Figura 7 – Resultados do método hierárquico com os dados da Tabela 1

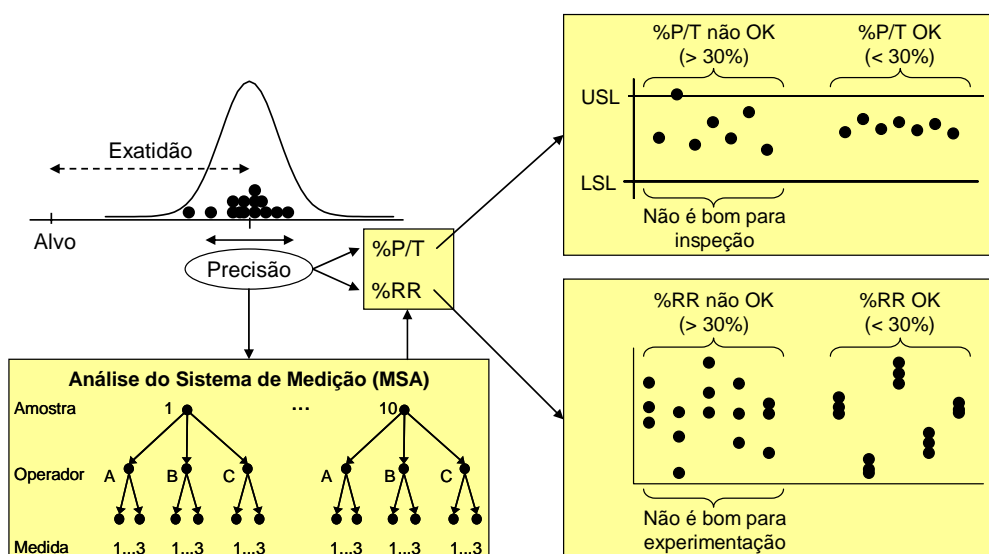


Figura 8 – Regras de decisão para avaliar o estudo RR

Conclusões:

- Veja que os resultados são incorretos porque o Minitab calcula reprodutibilidade com operadores que usam amostras diferentes! Logicamente a componente de reprodutibilidade poderá ser grande mesmo que os analistas sejam idênticos, pelo fato que usam amostras diferentes!
- Claramente, por este método o sistema de medição de alvura é inadequado (%RR e %P/T superiores a 70%).

Quando se percebeu o erro, o estudo foi realizado novamente usando o plano cruzado da Figura 9. Amostras próximas foram consideradas idênticas. Os dados estão na Tabela 2. Os dados foram plotados na Figura 10. A análise foi realizada conforme a Figura 11 em “Stat\Quality Tools\Gage R& Study\Gage R&R Study (Crossed)”. Os resultados estão na Figura 12 e mostram que o sistema de medição é adequado já que %RR e %P/T são menores que 30%. Este resultado é bem diferente ao obtido anteriormente usando o plano inadequado.

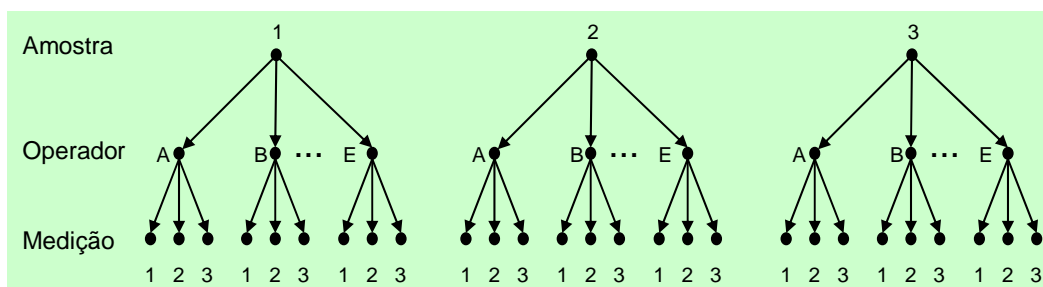


Figura 9 – Método cruzado usado para avaliar o método de medição de alvura

Tabela 2 – Dados de um plano cruzado para análise da precisão da medição de alvura

Ordem	Amostra	Analista	medição	Número do Saquinho	Alvura
7	3	A	1	1	90,46
9	3	A	3	7	90,54
2	1	A	2	10	90,62
8	3	A	2	11	90,41
4	2	A	1	15	89,55
3	1	A	3	24	90,56
5	2	A	2	30	89,23
1	1	A	1	35	90,64
6	2	A	3	36	89,61
13	2	C	1	2	89,58
10	1	C	1	4	90,62
12	1	C	3	5	90,65
17	3	C	2	6	90,57
15	2	C	3	19	89,51
14	2	C	2	20	89,65
16	3	C	1	21	90,48
11	1	C	2	27	90,74
18	3	C	3	32	90,58
23	2	D	2	8	89,75
20	1	D	2	16	90,81
25	3	D	1	17	90,61
21	1	D	3	22	90,71
26	3	D	2	23	90,70
19	1	D	1	25	90,90
27	3	D	3	28	90,69
22	2	D	1	29	89,80
24	2	D	3	34	89,85
33	2	E	3	3	89,61
29	1	E	2	9	90,62
28	1	E	1	12	90,64
31	2	E	1	13	89,55
36	3	E	3	14	90,48
32	2	E	2	18	89,62
35	3	E	2	26	90,45
30	1	E	3	31	90,65
34	3	E	1	33	90,57

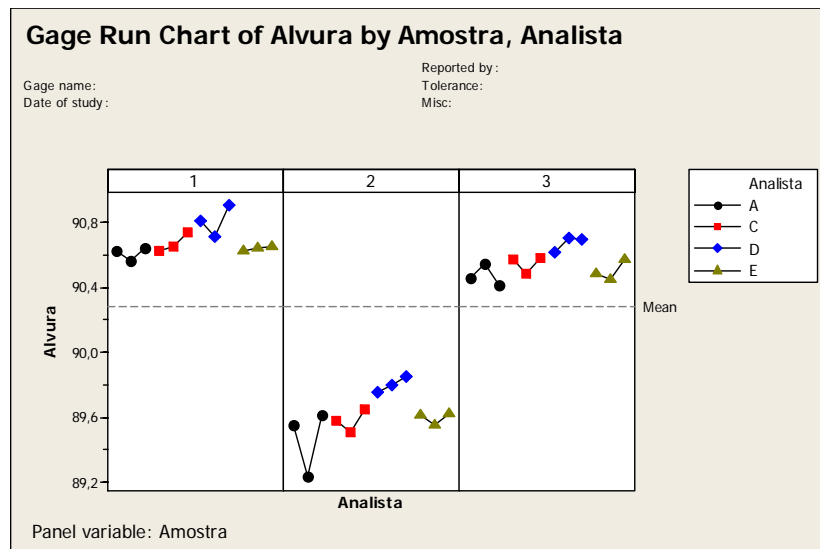


Figura 10 – Gráfico Run chart com o plano cruzado da Tabela 2

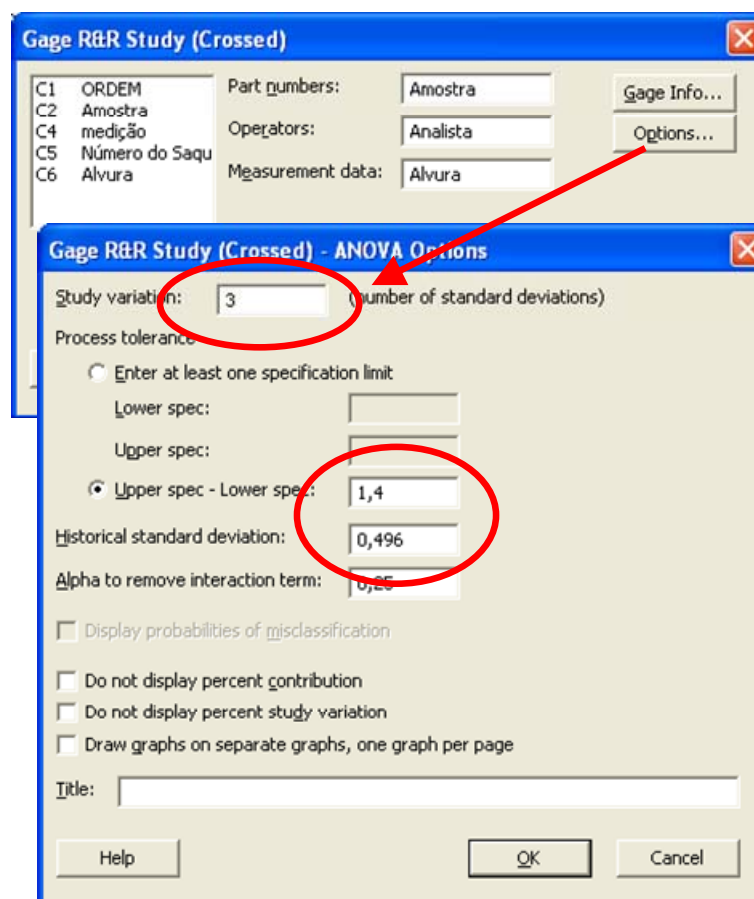


Figura 11 – Método cruzado com os dados da Tabela 2

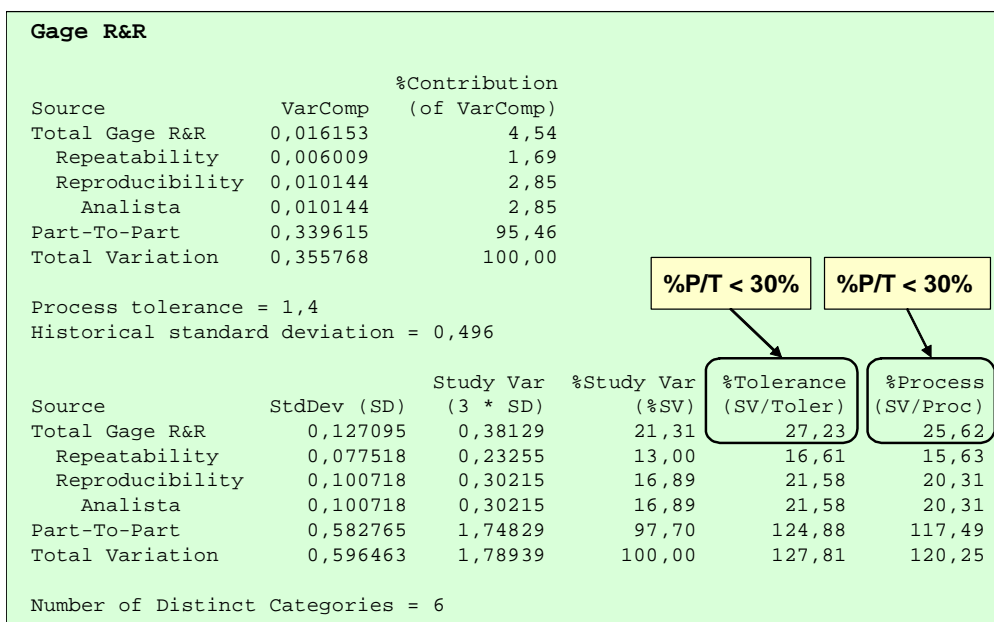


Figura 12 – Resultados do método cruzado com os dados do plano cruzado

Conclusões:

- Se for possível, prefira sempre o plano cruzado. As alternativas de análise são mais ricas que ao utilizar o plano hierárquico.
- Se for indispensável usar um plano hierárquico (exemplo, pelo fato que a amostra degrada de um turno para o outro) prefira o esquema da Figura 3 ao invés do sugerido pelo Minitab na Figura 2. Nesse último caso você não poderá fazer análise no procedimento “Stat\Quality Tools\Gage Study\Gage R&R Study (Nested)” porque a hierarquia que você usou é diferente! Se seu plano é balanceado (não perdeu nenhuma amostra) faça a análise em “Stat\ANOVA\Fully Neste ANOVA”. Se você perdeu algum dado, use o procedimento “Stat\ANOVA\General Linear Model” do Minitab.

Nota final:

Se tiver dúvidas você tem duas alternativas:

- Envie um email...
- ou melhor ainda, faça o nosso curso de Black Belt ou Master Black Belt!