

# **RACIONALIZAÇÃO DOS ESTUDOS DE REPETITIVIDADE E REPRODUTIBILIDADE PARA SISTEMAS DE INSPEÇÃO POR ATRIBUTOS**

**André Luiz Meira de Oliveira**

UFSC – EMC – Labmetro – Campus Universitário, Florianópolis/SC – aeo@labmetro.ufsc.br

**Anderson César da Silva**

UFSC – EMC – Labmetro – Campus Universitário, Florianópolis/SC – ads@labmetro.ufsc.br

**Gustavo Daniel Donatelli**

UFSC – EMC – Labmetro – Campus Universitário, Florianópolis/SC – donatelli@labmetro.ufsc.br

**Paulo Moura**

Zen SA., Guilherme Steffen, 65 – CEP: 88.355-100 – Brusque/SC – paulo.moura@zensa.com.br

***Resumo:** Processos de inspeção por atributos precisam ser validados, para gerar evidência objetiva de que as decisões tomadas com referência à qualidade dos produtos inspecionados são corretas. O presente artigo explora as condições de aplicabilidade do método de análise de risco, proposto pelo Manual de Referência de Análise dos Sistemas de Medição (MSA), de uso recomendado no escopo do sistema da qualidade ISO/TS 16949. Mostra-se que a aplicação tecnicamente eficiente do método está sujeita a fortes restrições, principalmente no que diz respeito à capacidade do processo de fabricação e a viabilidade econômica.*

***Palavras-chave:** Inspeção por atributos, MSA, Método de análise de risco.*

## **1. INTRODUÇÃO**

A inspeção por atributos permite às empresas classificarem as unidades fabricadas de acordo com o atendimento de uma especificação ou padrão. Dependendo do objetivo dessa inspeção, podemos separar as unidades em duas categorias (e.g. conforme ou não conforme) ou em múltiplas categorias (e.g. inspeção para classificação de pistões de motor em grupos dimensionais).

O conteúdo de informação dos dados gerados pela inspeção por atributos é consideravelmente menor que a dos dados gerados por medição. Dados de tipo atributos não informam da intensidade do desvio com referência à qualidade desejada, e por esse motivo o controle da qualidade deveria se basear em medições, sempre que seja tecnicamente possível e economicamente viável. Assim, a avaliação de conformidade e a classificação em categorias de produto podem ser eficientemente realizadas pela comparação dos valores medidos da propriedade de interesse com limites de especificação numéricos.

Caso a inspeção por atributos seja a opção, podemos diferenciar seus três tipos de operações distintas:

- a) Operações de inspeção que não podem ser realizadas através de medições, dada a própria natureza da característica da qualidade a inspecionar, mas também por limitações no estado da arte da tecnologia de inspeção. São exemplos deste tipo de inspeção: o sabor dos alimentos, a presença de defeitos num pára-brisa de carro e a ausência de componentes numa placa de circuito impresso (figura 1-a).

- b) Operações de inspeção que podem ser resolvidas por medição, mas que são realizadas por atributos por razões de índole operacional e/ou econômica. Tal é o caso da inspeção geométrica realizada com calibradores passa-não passa, que executam a comparação da geometria a inspecionar com elementos físicos que materializam os limites de aceitação (figura 1-b). Em geral, opta-se por este tipo de inspeção no caso de características que, não sendo significativas ou críticas, são produzidas por processos de fabricação que não precisam ser estatisticamente controlados. Outro caso é a necessidade de inspecionar simultaneamente várias características geométricas que determinam a função de um componente, mas que seriam extremamente demoradas e onerosas caso inspecionadas por medição (e.g. roscas e estrias).
- c) Finalmente, tem-se o caso de inspeções realizadas por medição, onde a redução a atributos é feita na hora da aquisição do dado. Na figura 1-c pode se observar um relógio comparador equipado para facilitar a comparação com os limites de aceitação. Na rotina, o instrumento é usado como passa-não passa, mas também pode ser aproveitado para gerar dados para controle de processos.



(a) Inspeção visual manual de placas de circuito impresso (ausência de componentes, qualidade da solda, etc.)



(b) Calibrador “passa-não passa” para inspeção de ranhura



(c) Relógios comparadores com indicadores dos limites de aceitação

Figura 1 - Exemplos de sistema de inspeção por atributos

Processos de inspeção por atributos precisam ser validados, para gerar evidência objetiva de que as decisões tomadas com referência à qualidade dos produtos inspecionados são corretas.

Inspeções do tipo (c) podem ser validadas usando estudos estatísticos para variáveis contínuas. Entre esses, destacam-se os estudos de repetitividade e reprodutibilidade pelo método da média e amplitude ou usando análise de variância (ANOVA)<sup>(1)</sup>. Esses procedimentos requerem um número relativamente pequeno de amostras de produto, que são analisadas por vários operadores por repetidas vezes. Tipicamente, usam-se 10 amostras de produto, medidas por três operadores, três vezes cada uma. O método de média e amplitude pode separar o erro de medição em duas componentes básicas, a repetitividade e a reprodutibilidade (ou variação entre operadores). O método ANOVA pode ainda quantificar a interação entre operadores e amostras.

As inspeções de tipo (a) e (b) não disponibilizam valores de variáveis contínuas, devendo ser avaliadas pela consistência da qualidade atribuída às amostras de produto. Os resultados da inspeção de uma amostra de produto são consistentes quando diferentes operadores produzem repetidamente o mesmo laudo sobre a qualidade da amostra, sendo esse laudo igual ao que poderia ser obtido usando um sistema de inspeção de referência. Um sistema de inspeção poderá ser qualificado como completamente efetivo quando essa consistência se mantém, independentemente da qualidade da amostra inspecionada. Infelizmente, tais sistemas não existem na realidade industrial.

A inspeção de amostras marginalmente conformes ou marginalmente não-conformes, ou seja, aquelas que estão perto dos limites de aceitação, gera resultados ambíguos, resultando em dois tipos de erros de inspeção: a aceitação de produto não-conforme e a rejeição de produto conforme. Evidentemente, quanto mais expressiva seja a amplitude da região de ambigüidade frente a amplitude da região de conformidade, tanto menos efetivo será o sistema de inspeção.

Porém, dado o baixo conteúdo de informação sobre variabilidade presente nos dados tipo atributo, números maiores de amostras de produto se tornam necessárias para a validação desses processos, encarecendo e dificultando a realização da avaliação. Além disso, é imprescindível que entre as amostras existam produtos conformes, não-conformes, marginalmente conformes e marginalmente não-conformes, e nem sempre amostras com essas características podem ser extraídas aleatoriamente do produto produzido.

De fato, é muito comum que sistemas de inspeção por atributos operem em processos altamente capazes, que dificilmente produzirão produto não-conforme. Para produzi-lo, será necessário tirar o processo de seu estado natural, o qual nem sempre é possível. Assim, a avaliação de sistemas de inspeção por atributos é freqüentemente uma tarefa desafiadora. Apesar disso, ela é uma necessidade no âmbito dos sistemas de garantia da qualidade das medições de produção.

Este trabalho explora as condições de aplicabilidade de um dos métodos estatísticos recomendados para analisar sistemas de inspeção por atributos, conhecido como “método de análise de risco”<sup>(1)</sup>. Esse método, que pode ser aplicado aos três tipos de inspeção, permite quantificar o grau de concordância entre os operadores e entre os operadores e a referência. Usou-se simulação computacional para estudar a influência da capacidade do processo fabril e da capacidade do sistema de inspeção sobre os resultados da aplicação do método. A simulação, baseada em variáveis contínuas gerou resultados aplicáveis a inspeções dos tipos (b) e (c).

## 2. ANÁLISE DE SISTEMAS DE INSPEÇÃO POR ATRIBUTOS

Na indústria brasileira, e também no mundo, a aplicação de métodos estatísticos para análise de processos de medição e inspeção é regida pelas exigências da indústria automotiva. A norma ISO TS 16949 diz, textualmente:

*Estudos estatísticos devem ser realizados para analisar a variação existente nos resultados de cada tipo de sistema de medição e equipamento de teste. Este requisito deve ser aplicado aos sistemas de medição referenciados no plano de controle. Os métodos analíticos e critérios de aceitação devem estar de acordo com aqueles contidos nos manuais de referência do cliente sobre análise dos sistemas de medição. Outros métodos de análise e critérios de aceitação podem ser usados se aprovados pelo cliente.*<sup>(2)</sup>

Embora esse parágrafo da norma só faça referência explícita aos “sistemas de medição” e a uns vagos “sistemas de teste”, costuma ser interpretado como aplicável também aos sistemas de inspeção por atributos. A seguir serão descritos brevemente os métodos para análise de sistemas de inspeção por atributos mencionados no Manual de Referência de Análise dos Sistemas de Medição<sup>(1)</sup> (MSA – *Measurement System Analysis*).

### 2.1. Curva de desempenho da inspeção

O denominado método analítico é baseado na curva de desempenho da inspeção (ou GPC - *Gage Performance Curve*). A GPC mostra a variação da probabilidade de aceitar uma característica de qualidade em função do seu valor verdadeiro, ao longo do intervalo de especificação e também fora do mesmo. Em conseqüência, este método somente pode ser aplicado para inspeções dos tipos (b) e (c), para as quais é possível expressar a qualidade em termos de uma variável contínua.

Na figura 2 observa-se que na região adjacente aos limites de especificação, a probabilidade de aceitar muda progressivamente, tendendo a zero na medida em que o valor verdadeiro da

característica se afasta da região de conformidade. O erro de classificação é possível dentro das regiões em que a probabilidade de aceitar a amostra admite valores entre zero e um.

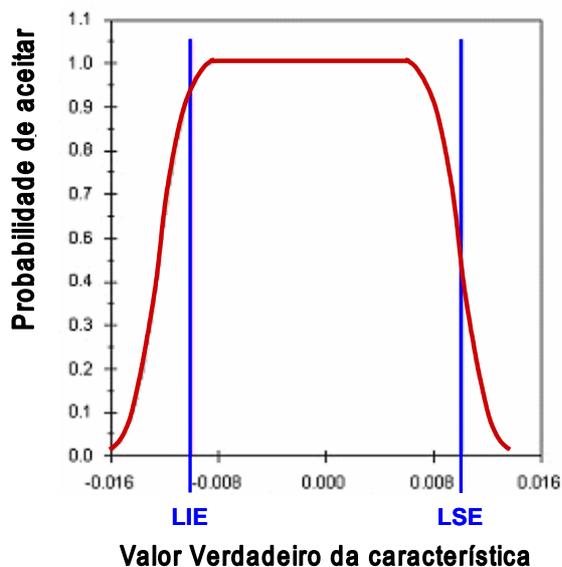


Figura 2 – Curva de desempenho da inspeção

A curva pode ser traçada analiticamente conhecendo o desvio padrão do erro repetitividade e reprodutibilidade e a tendência do processo de medição, assumindo que o erro de medição apresenta distribuição normal. À medida que o valor de desvio padrão do erro de repetitividade e reprodutibilidade cresce, a região de classificação ambígua também cresce.

A GPC também pode ser obtida experimentalmente, inspecionando repetidas vezes amostras de produto que apresentem diferentes valores verdadeiros e estimando a probabilidade de aceitar cada uma delas. Os valores extremos dessas amostras (i.e. o menor e o maior valor) devem-se afastar suficientemente dos limites de especificação como para que seja possível achar casos em que as amostras foram rejeitadas em todas as repetições.

## 2.2. Método de detecção de sinal

Para este método também é necessário expressar a qualidade das amostras de produto em termos de uma variável contínua, sendo assim aplicável a sistemas de inspeção dos tipos (b) e (c). Consiste em selecionar amostras de produto conforme e não conforme, de características semelhantes às detalhadas para estimar a GPC experimentalmente. Essas amostras são inspecionadas repetidas vezes por vários operadores (e.g. o Caderno 10 da Bosch GmbH especifica 50 amostras, inspecionadas duas vezes por dois operadores<sup>(3)</sup>). Os resultados da inspeção são comparados com a qualidade que corresponderia a cada amostra em função do seu valor de referência, para determinar se existe acordo ou não nos resultados da inspeção.

As regiões de classificação segura são identificadas pelo completo acordo de todas as repetições de todos operadores com a referência (correspondem às regiões em que a GPC apresenta valores 0 e 1). As regiões de classificação ambígua são identificadas pela existência de qualquer discordância entre operadores ou com a referência. O método propõe o uso de um indicador da efetividade de inspeção, denominado %R&R, cujo valor é estimado pelo quociente entre o tamanho médio das regiões de discordância e a tolerância. Quando esse quociente é menor que 10%, se diz que o sistema é capaz. Quando é maior de 30%, o sistema não pode ser aceito. Valores intermédios, entre 10% e 30%, podem ser aceitos dependendo da aplicação.

## 2.3. Método de análise de risco

O método de análise de risco não necessita de expressar a qualidade das amostras de produto em termos de uma variável contínua, podendo ser aplicado também a inspeções de tipo (a). Por ser o método estudado nesta pesquisa, seu tratamento será mais detalhado que nos casos anteriores.

O manual de referência MSA recomenda coletar aleatoriamente 50 amostras de produto incluindo conformes e não-conformes. As amostras devem ser inspecionadas por 3 operadores, 3 vezes cada uma, em ordem aleatória. Constrói-se uma tabela onde, para cada operação unitária de inspeção se coloca 1 quando a amostra foi aprovada e 0 quando foi rejeitada. Uma vez preenchida completamente a tabela, realizam-se as operações a seguir:

1. Contar o número de vezes que os operadores, em pares (A com B, A com C e B com C), concordam entre si (ex. A = 1 e B = 1; A = 0 e B = 0) e discordam entre si (ex. A = 1 e B = 0; A = 0 e B = 1). Atribuir valor 1 se houver concordância e 0 se não a houver. Fazer a contagem das concordâncias ( $s_{0,0}$ ;  $s_{1,1}$ ) e discordâncias ( $s_{0,1}$ ;  $s_{1,0}$ );
2. Criar uma tabela de contingência, utilizando contagem das concordâncias e discordâncias “s” entre os operadores, e calculando os valores esperados para essa contagem “q” (ver tabela 1);

Tabela 1 - Tabela de contingência para análise de sistemas de inspeção

		B		Totais	Definições	
		0	1			
A	0	Contados	$s_{0,0}$	$s_{0,1}$	$S_{A,0}$	$q_{0,0} = S_{A,0} \cdot S_{B,0} / T_S$ $q_{0,1} = S_{A,0} \cdot S_{B,1} / T_S$ $q_{1,0} = S_{A,1} \cdot S_{B,0} / T_S$ $q_{1,1} = S_{A,1} \cdot S_{B,1} / T_S$
		Esperados	$q_{0,0}$	$q_{0,1}$	$Q_{A,0}$	
	1	Contados	$s_{1,0}$	$s_{1,1}$	$S_{A,1}$	
		Esperados	$q_{1,0}$	$q_{1,1}$	$Q_{A,1}$	
Totais	Contados	$S_{B,0}$	$S_{B,1}$	$T_S$		
	Esperados	$Q_{B,0}$	$Q_{B,1}$	$T_Q$		

3. Na seqüência calculam-se a probabilidade observada e esperada de classificação correta:

$$P_O = (s_{0,0} + s_{1,1}) / T_S \quad (1)$$

$$p_E = (q_{0,0} + q_{1,1}) / T_S \quad (2)$$

4. Calcula-se o índice  $\kappa$  (denominado *kappa* de Cohen), que determinará a concordância entre os operadores:

$$\kappa = \frac{P_O - p_E}{1 - p_E} \quad (3)$$

Esse cálculo deve se repetir para todos os operadores, tomados de dois a dois (A com B, A com C, B com C), resultando em 3 valores distintos de  $\kappa$ . Os valores de  $\kappa$  variam entre 0 e 1, onde 1 representa concordância perfeita.

5. Acrescenta-se uma coluna à tabela, para a qualidade de referência de cada amostra. Atribui-se valor 1 quando a amostra for conforme e 0 quando for não conforme. Calculam-se os valores de  $\kappa$  entre cada operador e a referência, obtendo-se mais 3 valores de  $\kappa$ : A com Ref, B com Ref e C com Ref.

Não há critérios absolutos que permitam julgar a capacidade de um sistema de inspeção a partir dos valores estimados de  $\kappa$ . O MSA sugere que quando todos os valores de  $\kappa$  são iguais ou maiores que 0,75, a concordância é boa e o sistema pode ser aceito. No entanto, isso pode ser visto como uma decisão estratégica que depende da aplicação e da política de qualidade da empresa.

As principais desvantagens e limitações do método proposto no MSA são:

- O experimento realizado com 50 amostras de produto, medida por 3 operadores, 3 vezes, resulta em 450 operações unitárias de inspeção. Quando se somam as 50 inspeções ou medições de referência, que muitas vezes são mais trabalhosas e caras, se chega a um total

de 500 operações unitárias de inspeção somente para validar um processo de inspeção. Um experimento deste porte é muitas vezes impraticável e caro.

- O método proposto, como qualquer outro procedimento estatístico, apresenta uma incerteza que aumenta na medida que o tamanho da amostra diminui. Conhecer a incerteza no valor de  $\kappa$  e sua dependência do número de amostras de produto, do número de operadores e de repetições permitiria gerenciar racionalmente o volume de trabalho necessário para validar um determinado processo de inspeção. Infelizmente, os autores não conhecem referências descrevendo como isso pode ser feito.
- O valor de  $\kappa$  se indetermina quando todos os itens são considerados conformes por todos os operadores <sup>(5)</sup>. No entanto, como já foi antecipado, nem sempre é fácil arranjar produto não-conforme ou de qualidade marginal.
- Quando somente um operador tem uma não-conformidade em discordância com todos os outros, resulta  $p_O = p_E$ , levando o valor de  $\kappa$  entre esse operador e os outros para zero, mesmo tendo quase total concordância entre os operadores.

Estas desvantagens e limitações podem causar excessivos custos e não gerar resultados satisfatórios na análise dos sistemas de inspeção por atributos, assim como também ambigüidades na hora de interpretar esses resultados. Dado que uma parte expressiva dos custos pode vir de casos nos quais o estudo produza resultados incoerentes ou inválidos, este trabalho se propõe a delimitar as condições sob as quais este possa ser aplicado com sucesso.

### 3. ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE APLICABILIDADE

#### 3.1. O algoritmo de simulação

O estudo do comportamento do método de análise de risco e do indicador  $\kappa$  de Cohen foi realizado por simulação computacional, usando a configuração experimental conforme a sugerida no MSA (50 amostras, 3 operadores, 3 repetições). Foram usadas variáveis contínuas normalmente distribuídas para representar o comportamento do valor verdadeiro da característica da qualidade e também para o erro de repetitividade, restringindo a validade dos resultados desta pesquisa a inspeções dos tipos (b) e (c). Foi considerado que o erro de reprodutibilidade, associado à influência de cada operador, é desprezível frente ao erro de repetitividade.

Os valores de erro de repetitividade e de desvio-padrão do processo foram calculados para valores pré-determinados de  $C_p$ , índice de capacidade de processo, e  $R\&R(\%Tol)$ , índice de capacidade baseado na repetitividade e reprodutibilidade. As equações desses indicadores podem ser observadas a seguir:

$$C_p = \frac{Tol}{6 \cdot \sigma_p} \tag{4}$$

$$GRR(\%Tol) = \frac{6 \cdot \sigma_{RR}}{Tol} \tag{5}$$

Os valores usados na simulação foram os seguintes:

$$C_p = 0,667; 0,833; 1,000; 1,333 \tag{6}$$

$$GRR(\%Tol) = 10\%; 30\%; 50\% \tag{7}$$

O valor  $C_p=0,667$  representa um processo de fabricação não capaz e  $C_p=1,333$  u processo capaz segundo os padrões da indústria moderna. Em forma similar,  $GRR(\%Tol)=10\%$  representa u

processo de inspeção capaz e  $GRR(\%Tol)=50\%$  um processo de inspeção não capaz. Para simplificar a simulação, assumiu-se  $Tol=1$ .

Para cada uma das combinações possíveis dos dois índices ( $C_p$  e  $GRR$ , em um total 12 combinações) foram gerados aleatoriamente os valores de referência de cada amostra e os valores medidos pelos operadores, contaminando os valores de referência com erro de repetitividade. Cada um dos valores gerados foi comparado com os limites de tolerância para atribuir a conformidade ou não-conformidade com a especificação. Uma vez preenchida a tabela, realizaram-se as operações de contagem necessárias para completar a tabela de contingência e o valor do  $\kappa$  de Cohen foi estimado. Para poder calcular os valores estatísticos de interesse, a simulação acima foi repetida 1000 vezes. Os valores de  $\kappa$  assim obtidos apresentam uma variação devida somente à amostragem. A média estatística desse vetor estima o valor esperado de  $\kappa$  para uma determinada combinação de processo de fabricação e processo de inspeção. O desvio padrão dos valores de  $\kappa$  dentro do vetor poderia ser usado para expressar amplitude de um intervalo de confiança para melhorar a estimação de  $\kappa$ .

### 3.2. Resultados

O primeiro grande mérito da simulação foi mostrar que, mesmo numa condição controlada e com erro de reprodutibilidade desprezível, a dispersão dos 1000 valores de  $\kappa$  contidos em cada vetor excedia as expectativas mais pessimistas. Assim, o objetivo principal da pesquisa, que era aproximar os intervalos de confiança para os valores de  $\kappa$  que podem ser obtidos por um estudo padrão 50-3-3, teve que ser abandonado. Além desse, outros resultados interessantes foram alcançados.

Primeiramente analisou-se a probabilidade de conduzir um estudo que resulte em valores de  $\kappa$  incoerentes (i.e.  $\kappa < 0$  ou  $\kappa = 0/0$ ). Estes estudos consomem recursos sem entregar nenhum resultado útil ao final sendo, portanto, desejável evitá-los no âmbito industrial. As figuras 3 e 4 mostram o comportamento da probabilidade de obter resultados incoerentes, para as 12 combinações analisadas de  $C_p$  e  $GRR(\%Tol)$ . Na figura 3 se mostra a resposta do  $\kappa$  entre os operadores A e B; na figura 4, a do  $\kappa$  entre o operador A e a referência. Outros casos foram omitidos por serem redundantes.

Pode-se observar que existe uma clara tendência a aumentar a probabilidade de obter resultados incoerentes quando  $C_p$  aumenta. Para o maior valor no domínio de simulação,  $C_p=1,33$ , quase não se obtiveram casos válidos. Para o valor mais baixo de capacidade de processo,  $C_p=0,67$ , se obteve ainda um 10% de casos incoerentes. Por outra parte, a influência de  $GRR(\%Tol)$  na probabilidade de obter resultados incoerentes foi desprezível.

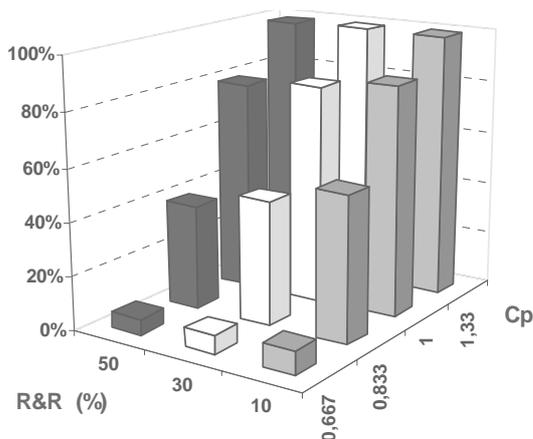


Figura 3- Incoerentes A-B

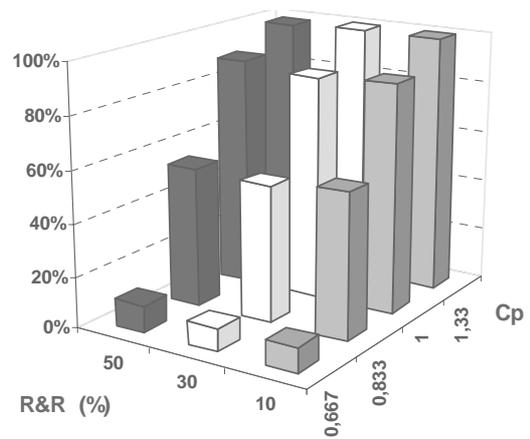


Figura 4- Incoerentes A-Ref

Nota-se também uma diferença na resposta da probabilidade de obter resultados incoerentes, dependendo de que se trate do  $\kappa$  entre operadores e entre um operador e a referência. Em geral, os

valores de  $\kappa$  entre um operador e a referência apresentam maior tendência à inconsistência que os valores de  $\kappa$  entre dois operadores. Essa diferença é particularmente expressiva para valores intermediários de  $C_p$ .

Nas figuras 5 e 6 pode ser observada a fração de casos nos quais o valor de  $\kappa$  foi maior ou igual a 0,75, resultando na aprovação do sistema de inspeção. Pode-se observar que sistemas de inspeção apresentando boas características metrológicas, i.e.  $GRR(\%Tol) = 10\%$ , não são sempre aprovados pela análise. Quando o processo de fabricação apresenta valores relativamente altos de capacidade, a baixa probabilidade de aprovação se deve principalmente ao alto número de casos com resultados incoerentes. A probabilidade de aprovar aumenta na medida que a capacidade do processo de fabricação diminui. No entanto, deve-se notar que para  $C_p=0,667$  e  $GRR(\%Tol) = 10\%$ , são aprovados aproximadamente 80% dos casos e não o 100% como poderíamos esperar.

Por outro lado, sistemas apresentando erros significativos, e.g.  $R\&R(\%Tol) = 50\%$ , operando na inspeção de processos com  $C_p=0,667$ , apresentam aproximadamente um 10% de probabilidade de serem aprovados. O comportamento da probabilidade de reprovar o sistema pode ser deduzido das gráficas anteriores e não precisa ser informado neste artigo.

Durante a simulação confirmou-se um comportamento aberrante já mencionado na introdução. Quando todas as amostras inspecionadas são conformes e um dos operadores discorda apenas em uma repetição, atribuindo à amostra o caráter de não-conforme, os valores de  $\kappa$  desse operador com relação aos outros e com relação à referência resultam iguais a zero.

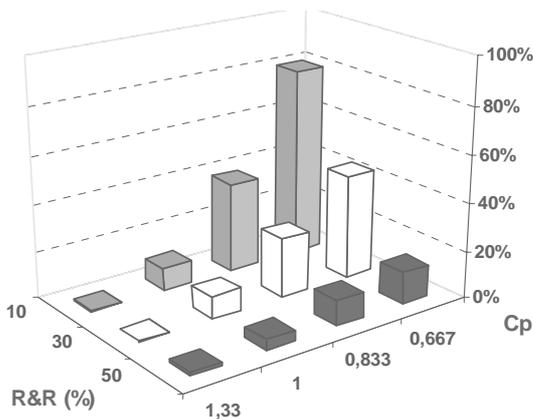


Figura 5 - Aprovados A-B

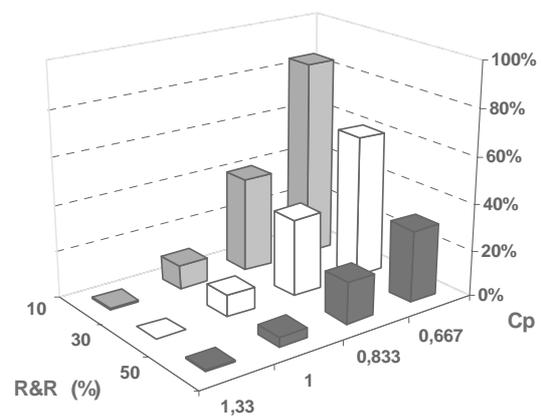


Figura 6- Aprovados A-Ref

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora exista uma tendência geral a substituir a inspeção por atributos pela inspeção baseada em operações de medição, apresentam-se ainda muitos casos nos quais essa substituição é economicamente inconveniente ou tecnicamente impossível. Sistemas de inspeção por atributos precisam ser avaliados, para garantir que as decisões de classificação tomadas a partir dos resultados de inspeção sejam corretas. Infelizmente, a avaliação estatística deste tipo de sistemas é demorada e dispendiosa, devido à grande quantidade de dados que é necessário coletar. O método de análise de risco, proposto no manual de referência MSA, permite avaliar sistemas de inspeção de qualquer um dos tipos mencionados na introdução deste artigo, usando o índice  $\kappa$  para o grau de concordância entre os operadores e entre os operadores e a referência.

Neste artigo explorou-se, usando simulação computacional, o comportamento do  $\kappa$  de Cohen para distintos processos de fabricação e inspeção. Os desvios de ambos processos foram representados por distribuições normais. O uso de variáveis contínuas na simulação restringe a aplicabilidade dos resultados da pesquisa às inspeções dos tipos (b) e (c).

As simulações realizadas mostram que, quando amostras de produto são retiradas da produção em forma aleatória, existe uma alta probabilidade de obter valores indeterminados inconsistentes de  $\kappa$ , a menos que a capacidade do processo de produção seja extremamente baixa (i.e.  $C_p \leq 0,667$ ). A

aplicação deste método de avaliação com amostras aleatórias obtidas de processos de capacidade marginal ou alta será uma perda de tempo e dinheiro, e deve ser evitada. Constataram-se também uma alta variabilidade e certa instabilidade nos valores de  $\kappa$  obtidos na avaliação repetida de processos que atendem as condições para que o ensaio seja válido.

Uma solução para o problema das amostras aleatórias poderia ser o uso de amostras de produto geradas ou selecionadas para que apareçam produtos não-conformes. Em processos de fabricação, uma vez manipulados e regulados, podemos gerar propositadamente essas unidades não-conformes. Em outros, que não podem ser manipulados e que apresentam naturalmente uma alta capacidade, essas amostras podem ser obtidas no longo prazo, esperando que se produzam condições atípicas ou de desgaste extremo do ferramental. Essa é uma prática de risco, onerosa e complexa, pois é necessário dispor permanentemente de um sistema de inspeção ou medição de referência e alertar ao pessoal de produção sobre a necessidade de realizar procedimentos não rotineiros quando se suspeita de uma possível condição atípica no processo. Dada a essência incerta do procedimento, será preciso inspecionar mais de 50 amostras de produto, até obter a quantidade necessária para o estudo. Considerando sua raridade e custo, essas amostras deveriam ser separadas e convenientemente mantidas, para poder executar futuros estudos do sistema de inspeção sem ter que realizar novamente todo o procedimento.

Os tipos de amostragem não aleatória mencionados no parágrafo anterior estão sujeitos a objeções de caráter estatístico e operacional:

- A distribuição de probabilidade da característica qualidade será diferente daquela do processo a ser inspecionado, podendo gerar comportamentos indesejáveis no índice  $\kappa$  que, como se mostrou neste trabalho, é pouco robusto e apresenta certa tendência à instabilidade.
- Amostras atípicas ou especialmente produzidas não pertencem ao processo e podem apresentar algumas propriedades indesejáveis, que não estão presentes no produto a ser inspecionado rotineiramente. Essas propriedades podem afetar o comportamento do sistema de inspeção durante sua avaliação, produzindo resultados pouco realistas.
- Em produtos cujas propriedades mudam com o tempo, torna-se impossível manter amostras para avaliação periódica dos sistemas de inspeção.
- Dificilmente seja viável manter em estoque 50 amostras de produtos complexos ou caros, e.g. blocos de motor.
- Muitos produtos apresentam várias características da qualidade sujeitas à inspeção por atributos. A geração propositada de não-conformidades é difícil e não necessariamente 50 unidades de produtos fornecerão a condição necessária para avaliar todos os sistemas de inspeção envolvidos. Será então preciso preservar uma quantidade ainda maior de produto, com o custo decorrente.

Assim, a aplicação do método de análise de risco pode-se tornar problemática e extremamente dispendiosa, além de produzir resultados pouco confiáveis. Isso justifica em parte a decisão de algumas empresas, que baseiam a garantia da qualidade da sua inspeção por atributos somente na calibração dos meios de medição e inspeção. Este critério pode ser aceito como válido quando se trata de calibradores do tipo passa no passa para controle de geometrias, que representam efetivamente a condição de montagem a que as peças estão submetidas. No entanto, em outros casos a dependência exclusiva da calibração pode por em risco a confiabilidade da inspeção.

Na opinião dos autores, métodos mais econômicos e efetivos precisam ser criados para a avaliação de sistemas de inspeção por atributos, particularmente quando se está em presença de processos de fabricação de média e alta capacidade. Nesses casos, o sistema de inspeção não trabalha ativamente na segregação de unidades não-conformes, mas somente como um sistema de alerta que permite pôr em evidência derivas ou deterioração do processo de fabricação antes que o mesmo comece a produzir produto não-conforme. Por essa razão, sua avaliação baseada na confiabilidade de classificação parece pouco realista.

## 5. REFERÊNCIAS

1. MSA **Measurement System Analysis**, 3rd Ed., sanctioned by DaimlerChrysler, Ford and General Motors – 2002
2. International Organization For Standardization. **ISO/TS 16949**: Particular requirements for the application of ISO 9001:2000 for automotive production and relevance service part organizations, 2002.
3. BOSCH, **Quality Assurance in the Bosch Group Technical Statistics – 10. Capability of Measurement and Test Processes**, Ed. 01.2003, Robert Bosch GmbH.
4. NIA, Vahid Partovi, e outros, **An Introduction to Attribute Measurement Systems Analysis**. Disponível em: <<http://www.geocities.com/vahidpartoviniafiles/papers/intro-msa.pdf>>. Acesso em 15 de junho 2004.

## RACIONALIZATION OF ATTRIBUTE INSPECTION SYSTEMS STUDIES

**Abstract:** Attribute inspection systems have to be confirmed, to ensure that the decisions that are made regarding the quality of inspected products are correct. This paper explores the conditions that should be fulfilled to apply efficiently the risk analysis method, proposed in the Measurement System Analysis reference manual to be used within the scope of the ISO/TS 16949 quality assurance system. It shown that the application of the method is subjected to strong technical and economical constraints, mainly related to the capability of the process that produces the product used for the inspection system study.

**Keywords:** Attribute inspection, MSA, Risk analysis method.