

Aplicação do CEP em uma Indústria de BMC

Silvio N dos Santos¹

Carlos A Chaves, Dr.²

Álvaro A Cardoso, PhD.³

Ricardo L Vicente⁴

silvionu@gmail.com

carlosachaves@yahoo.com.br

azevedo@unitau.br

theflux@hotmail.com

1. Professor do Centro Universitário Hermínio Ometto. UNIARARAS

2,3. Professores e Orientadores da Universidade de Taubaté. UNITAU

4. Doutorando em Análise da Universidade de Sherbrooke. Canadá.

RESUMO

Este artigo discute a implantação e aplicação do Controle Estatístico do Processo em uma indústria de produtos em Bulk Molding Compounding ou simplesmente BMC. Na empresa em questão foram aplicadas todos os tipos de cartas de controle o que torna interessante este trabalho. Apresenta-se uma revisão bibliográfica sucinta sendo a metodologia, os resultados e a experiência agregada os pontos fortes da pesquisa. Nos casos, destacam-se as cartas de atributos. O artigo expõe também uma análise de MSA focando um estudo de R&R. Usou-se softwares como o Wincep[®] da VTB e o Minitab[®] para agilizar os cálculos.

Palavras Chave: CEP; Variabilidade; Cpk.

1. INTRODUÇÃO

Por volta de 1920, o Dr. Walter Shewart desenvolveu cartas de controle, também conhecidas como gráficos de controle. São instrumentos do Controle Estatístico do Processo ou CEP, os quais indicam a condição do processo. Através de cartas, pode-se verificar, a qualquer momento, se um processo está sob controle, além de detectar fatores que levarão o processo ao estado de fora de controle. DINIZ (2001).

1.1 TEOREMA DO LIMITE CENTRAL

Ao se recolher uma amostra de dimensão n de uma população muito grande X , com valor médio μ e desvio padrão σ . Se a dimensão da amostra for suficientemente grande ($n \geq 30$), a distribuição de amostragem da média pode ser aproximada por uma distribuição Normal com valor médio μ e desvio padrão σ/\sqrt{n} . Mesmo se os valores individuais não forem distribuídos normalmente, a distribuição das médias tenderá a ter uma distribuição normal, quanto maior o tamanho de amostra, n tendendo ao infinito, maior será esta tendência. Se as distribuições dos valores individuais forem muito diferentes da Normal, basta $n = 4$ ou 5 para se obter uma boa aproximação. Se as distribuições dos valores individuais forem radicalmente diferentes da Normal, então será necessário $n = 15$ ou mais para se obter uma boa aproximação pela Normal. REIS, BARBETA E BORNIA (2004). OAKLAND (2003)

1.2 GRÁFICOS DE CONTROLE DE PROCESSOS DEFINIDOS POR VARIÁVEIS


Este tipo de gráfico é usado quando o controle se dá por análise da amostra através de instrumentos, resultando em valores numéricos. As amostras são coletadas periodicamente, examinando-se toda a amostra (por exemplo: diâmetro da peça, densidade, pressão, viscosidade, vazão, etc). No caso de serviços, busca-se principalmente controlar tempos. Podem ser de quatro tipos: Cartas de Média e desvio padrão (\bar{X} , s). Cartas de Média, amplitude (\bar{X} , R). Cartas

de Mediana, amplitude (\bar{X} , R). Cartas de Individuais e amplitudes móveis (X, R_m). DINIZ (2001). A mais utilizada é a carta de médias e amplitudes. Os cálculos dos limites de controle para a carta \bar{X} , R, são deduzidas das formulas 1e 2. OAKLAND (2003)

$$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} \quad [1]. \quad LIC = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} \quad [2]. \quad A_2 \text{ é um valor tabelado, para } n = 5 \quad A_2 = 0,577.$$

1.3 GRÁFICOS DE CONTROLE DE PROCESSOS DEFINIDOS POR ATRIBUTOS

Este tipo de gráfico é usado quando o controle se dá por número de defeitos. As amostras são coletadas observando-se uma frequência, examinando-se toda a amostra em busca de defeitos. No caso de serviços, os dados importantes são os números de reclamações ou devoluções, por unidade de serviço. As Cartas de atributo podem ser de 4 tipos: Carta C ; Carta U ; Carta NP e Carta P. KANE (1986). STAMATIS (2003)



Padrão






Amostra de 5 peças					
Numero de Defeitos	1	2	0	3	2

Figura 1 Resumo sobre Cartas de Atributos adaptado de Material didático do Senai

Carta	O que representa	Observação
p	<u>4 = Peças defeituosas</u>	A amostra não precisa ser constante.
	5 = Peças na Amostra	
np	4 = Peças defeituosas	A amostra deve ser constante.
c	8 = Total de defeitos na amostra	A amostra deve ser constante.
u	<u>8 = Total de defeitos na amostra</u>	A amostra não precisa ser constante.
	5 = Peças na Amostra	

Tabela 1 Resumo sobre cartas de atributos adaptado de Material didático do Senai

1.4 TOLERÂNCIAS

Deduz-se de Lopes, em seu trabalho sobre tecnologia de fabricação, que tolerâncias são dimensões estabelecidas nas especificações pelo departamento de projeto ou pelos requisitos do cliente. As tolerâncias estabelecem os limites superiores e inferiores de especificação. LOPES (1983)

1.5 LIMITES DE CONTROLE

São limites estatísticos que refletem a aleatoriedade, ou não, do processo, a medida que se avança em um processo, este produz dimensões que variam, ao se estudar a variação é estabelecida uma média para o processo. Esta média do processo por sua vez está sujeita as oscilações dentro de um limite, estes limites são calculados e através deles se realiza o controle do processo. OAKLAND (2003)

1.6 ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO

Reflete a variabilidade natural ou intrínseca de um processo. A capacidade indica se um processo conseguirá produzir ou não as dimensões especificadas. Geralmente os limites de controle do processo estão dentro dos limites de especificação sendo a diferença de 1 sigma ou desvio padrão. Supondo-se que a dimensão de um eixo qualquer seja 10 ± 1 . O limite superior de especificação seria 11 e o limite inferior seria 9 sendo a tolerância total 2 mm. A teoria afirma que o desvio padrão ideal deve ser 0,25 ou 1/8 da tolerância total. SENAI (1987)

Supondo-se ainda que a medida nominal seja 10, o limite superior de controle seria 10,75 e o limite inferior de controle seria 9,25. Observe-se então que há um “gap” de 0,25 mm, até se chegar a medida de 11 e no flanco inferior até se chegar a medida de 9 mm. Para encontrar-se a medida de 0,25 dividiu-se 2 mm por 8. Neste caso tem-se o desvio padrão ou sigma estimado em 0,25. O processo normalmente não produz o ideal. Observe-se ainda que ao dividir a tolerância por 8, usa-se apenas 6 desvios, 3 para cima e 3 para baixo. OAKLAND (2003)

Por conseguinte o processo irá produzir desvios inferiores ou superiores a 0,25. Pode-se entender que como foi dividida a tolerância total por 8 e se tomou 6 partes é aceitável que a medida de capacidade seja 8/6 ou seja 1,33334. Este valor representa a medida de capacidade do processo. Observe-se por fim que se o processo estiver em seu desvio padrão ideal ou abaixo do valor ideal (0,25 no exemplo sugerido) ter-se-ia.

$$C_p = \frac{L.S.E - L.I.E}{6\sigma} = \frac{2 \text{ mm}}{6 \times 0,25} = \frac{2}{1,5} = 1,3334 \quad [3]$$

Se o desvio padrão produzido pelo processo for inferior ao desvio de 0,25 a capacidade do processo aumenta. Porém se for maior que 0,25 a capacidade diminui ou desaparece. Há, entretanto a questão da posição que esta variabilidade ocupa. RAMOS (2000)

1.6 CPK OU ÍNDICE DE DESEMPENHO DO PROCESSO

Antes de apresentar o índice Cpk, é necessário considerar dois outros índices de capacidade: o CPU e CPL. Considerando o caso de especificação unilateral superior define-se:

$$CPU = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad [4]$$

$$CPL = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad [5]$$

Para especificações bilaterais define-se o índice como: Cpk = mín. (CPL, CPU) [6]. DINIZ (2001).

Existe basicamente 2 formas de se calcular o desvio padrão. A primeira forma é usando a fórmula 7, a segunda, usando a fórmula 8. MCNEESE (2004)

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad [7]$$

Desvio Padrão Amostral

$$R/d_2 \quad [8]$$

Desvio Padrão Amostral Simplificado

Onde R é o valor da amplitude e d_2 é um valor tabelado. Geralmente os sistemas computacionais calculam o desvio padrão usando a fórmula simplificada [8]. A SETEC Consultoria (2002) em seus treinamentos define que a diferença entre o índice Cpk e o índice Ppk está na utilização das fórmulas [7] e [8] o Ppk utiliza a fórmula [7]. Os sistemas computacionais usados sugerem um range de 5 sigmas para o Ppk enquanto que para o Cpk um range de 4 sigmas. Como se usam 3 sigmas nas cartas tem-se para Ppk 5/3 o que resulta em uma constante de verificação de desempenho igual a 1,67. SETEC (2002). STAMATIS (2003)

1.7 ESTUDOS DE R&R

Repetitividade – é a variabilidade inerente do dispositivo de medição, isto é, a variação nas medidas obtidas quando um operador utiliza o instrumento para medir repetidas vezes as características de interesse dos mesmos itens, é estimada pelo desvio-padrão agrupado (médio) da distribuição de medições repetidas (AIAG, 1995).

Reprodutividade – é a diferença na média das medições feitas por diversas pessoas usando o mesmo ou instrumentos variados para medir característica idêntica na mesma peça; é estimada pelo desvio-padrão das médias das medições sob condições diferentes de medição (AIAG, 1995).

Variância do Sistema de Medição – Saída primária do R&R analítico para determinar se o sistema de medição é adequado para uma certa aplicação, é necessário comparar a variação da medição com a variação do produto/processo. A variabilidade total presente em um conjunto de dados gerados por um processo produtivo e medida por meio de algum instrumento de medição pode ser dividida em duas parcelas (AIAG, 1995)

Os estudos de M.S.A em especial o teste de R&R na Meridian seguiam os padrões da AIAG uma vez que a empresa é a maior fornecedora nacional de produtos automobilísticos em BMC e SMC. O teste de R&R e seus resultados foram colocados na seção de anexos.

2 OBJETIVOS

Apresentar um estudo de caso sobre a aplicação do controle estatístico do processo em uma linha de produção de BMC. Extrapolando para produção de carcaças de máquinas de costura Singer. O estudo mostra o mapa de aplicação das cartas de controle na Meridian do Brasil. Espera-se desta maneira ter-se um referencial para implantação do CEP em indústrias afins.

3 METODOLOGIA

A implantação do Controle Estatístico do Processo na Meridian decorreu da necessidade de redução de refugos e retrabalho na linha de Preparação e Montagem de carcaças de máquinas Singer. A Meridian produzia a matéria prima base para a injeção dos produtos citados. Para implantação escolheram-se dois setores piloto, o laboratório de confecção de BMC e o setor de Injeção. No laboratório aplicou uma carta de médias individuais e amplitudes móveis para controlar uma variável chamada spiral-flow e no setor de injeção foram aplicadas cartas de atributos. A tabela 2 mostra o índice de scrap e retrabalho do primeiro semestre de 2005. A tabela mostra 2 produtos e como se pode verificar o índice de scraps era altíssimo.

Op.	Cura	EQTO	Código do Produto	Total Produzido	Total Sucatado	Scrap (%)	Observação
1	79	INJ.5	T-494	10160	265	2,60	
1	72	INJ 2	T-524	21452	374	1,74	
				31612	639	SCRAP	REWORK
				FRC	97,98	2,020	1,0%

Tabela 2. Scraps

Usou-se como frequência para as cartas o próprio volume de produção. Cada partida de matéria prima aproximadamente 200 kg produzia o dobro da quantidade hora apresentada na tabela 3. Por conseguinte a carta P usada no setor de injeção verificava a quantidade produzida versus a quantidade de peças defeituosas produzidas. A quantidade produzida oscilava, portanto entre 120 e 130 peças. Para resolver o problema da confiança nos dados apresentados pelo operador o coordenador de CEP auditava aleatoriamente os registros. Foi colocada uma carta NP no processo cliente do setor de Injeção o setor de Preparação e

Montagem. Nesta última o operador selecionava uma camada e verificava a quantidade defeituosa. Era uma estratégia de auditoria para as cartas do processo fornecedor.

TIPO	Descrição	Kg/Pç	Pç. / H	Composto	Equip. ^{to}	Hr/ turno	Prod/ turno
T-494	Base Phoenix	1,350	65	LB 2098	INJ. 5	7,33	476,45
T-524	Base Ômega	1,545	60	LB 2098	INJ. 2	7,33	439,8

Tabela 3. Volume médio de produção hora.

4 RESULTADOS

Os principais problemas na linha de confecção das bases são apresentados pelo gráfico de Pareto da figura 2. A estratégia usada nas cartas foi a de verificar a quantidade de pontos de massa decorrente da porosidade e fixar períodos de melhoria onde as reduções eram metas a serem atingidas em períodos de 6 meses.

Não Conformidade	Qtde.
Porosidade	143
Contorno Quebrado	142
Riscos (Ferramenta)	90
Trincas	61
Outros	44
Bolhas (BMC)	38
Excesso de Massa	35
Rebarbas	11
Ausência Ref.	1
Mancha	1
Total	566

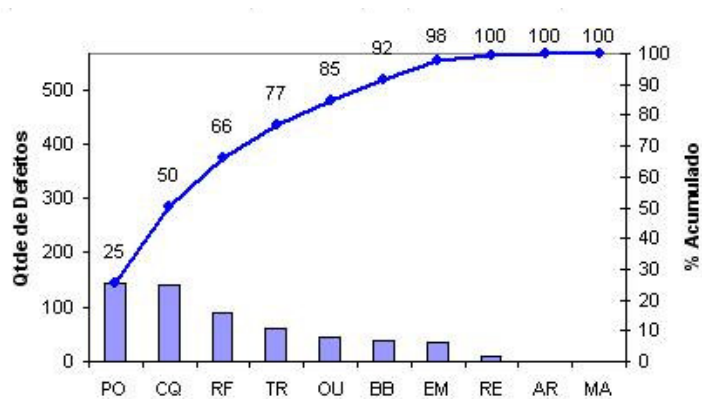


Figura 2 Gráfico de Pareto setor de Preparação e Montagem

A carta de controle por atributos no setor de injeção apresentou inicialmente as seguintes resultados: Limites de Controle P bar = 0.04 | LSC P = 0.08 | LIC P = 0.00 | Tendências Carta P com 0 amostras fora de controle. Terço Médio de 0.027 até 0.053. Acima do Terço Médio = 25.81 % Terço Médio = 50.00 %. Abaixo do Terço Médio = 24.19 %. Sem tendência de pontos consecutivos - PROCESSO ESTÁVEL. Carta PEM524. Ver tabela 4.

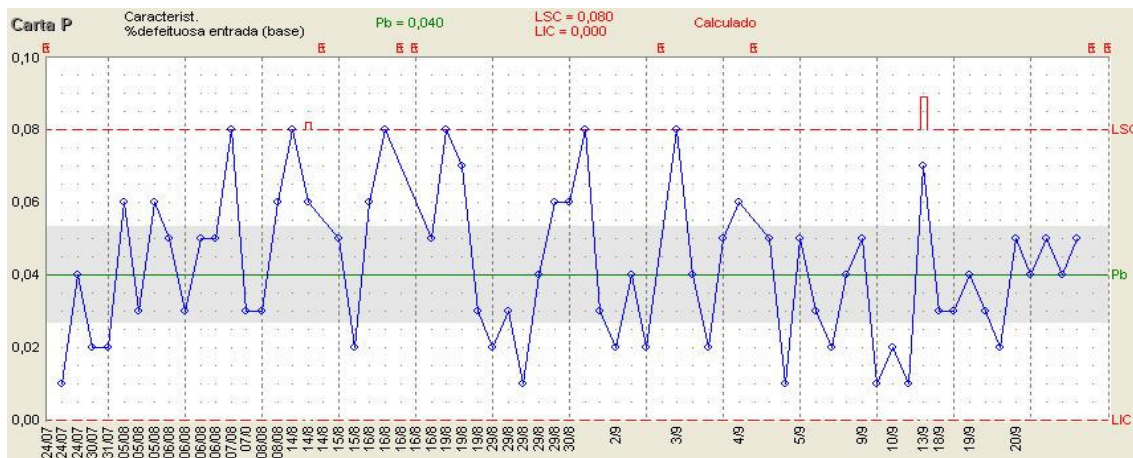


Figura 3 Carta de Controle de Atributos

Observe-se que a carta mostra que o processo é estável na produção de defeitos até um limite de 8%. A meta, entretanto era reduzir o LSC para 4% e a média de 4% para 2% em seis meses. A tabela 4, chamada “Mestra do Controle Estatístico”, mostra as cartas relacionadas

aos produtos 524 e 494 e respectiva massa BMC usada na injeção. Refere-se ao primeiro semestre de 2005. Conforme plano estabelecido pelo grupo de melhoria e CEP as cartas de atributo deveriam ter suas porcentagens reduzidas no LSC e na Média em 50% a cada semestre, sendo esta a meta a ser perseguida pelo responsável do setor.

O	Carta	Característica	Local	Produto	Méd	LSC	LIC	Carta	Formato	Resp.
1	X Rmov	Viscosidade	Mistura	LB2098	Planilha Excel			VI2098xx	Eletron	CoordCEP
2	X R Mov	Reatividade	Mistura	LB2098	Planilha Excel			RE2098x	Eletron	CoordCEP
3	X Rmov	Spiral Flow	Mistura	LB2098	13"	16"	10"	SF2098x	Eletron	Lid Mist
4	X Rmov	%Prod. x Nprod.	Mistura	LB2098	8960	15000	5880	PR2098x	Eletron	Lid Mist
5	P	% Defeituosa	Injetora	T524	3%	8%	0%	P01524x	Manual	Lid Injet
6	P	% Defeituosa	Montag	T524	4%	8%	0%	PEM524	Manual	Lid P&M
7	C - 05	Ptos de "massa"	Montag	T524	22	35	8	CEM524	Manual	Lid P&M
8	P	% Defeituosa	Injetora	T494	4%	9%	0%	P02494x	Manual	Lid Injet
9	P	% Defeituosa	Montag	T494	4%	8%	0%	PEM494	Manual	Lid P&M
10	C - 05	Ptos de "massa"	Montag	T494	28	48	12	CEM494	Manual	Lid P&M

Tabela 4. Mestre das Cartas de Controle

Carta de Médias Individuais e Amplitude Móvel para Spiral Flow aplicada ao laboratório de Misturas. Foi escolhida esta carta porque o valor fornecido no ensaio “spiral flow” já se tratava de uma média entre 10 experimentações.

Resultados: $X_{Ind} = 11.740$ | $R_{Mov} = 0.918$ | $LSC_{X ind} = 15.50$ | $LIC_{X ind} = 7.98$ | $LSC_{R mov} = 3.00$ | $LIC_{R mov} = 0.00$. Carta X_{ind} e R_{mov} com Zero amostras fora de controle | Região do Terço Médio: de 10.487 até 12.993. Acima do Terço Médio = 20.93 %. Terço Médio = 74.42 % Abaixo do Terço Médio = 4.65 %. Sem tendência de pontos consecutivos. PROCESSO ESTÁVEL. Normalidade da Distribuição: Modelo Normal, significância > 20 % | $CV = 6.59\%$. Especificação de Engenharia: Máx.: 18.00 | Mín.: 8.00. | Critério: $X_{Ind} \pm 3 \text{ Sigma}$: 99.730 % | $LNI = 9.605$ | $LNS = 14.339$. Critério: $X_{Ind} \pm 4 \text{ Sigma}$: 99.994 % | $LNI = 8.816$ | $LNS = 15.128$. Capacidade Potencial do Processo => $C_p = 2.112$ | Índice de Desempenho do Processo => $C_{pk} = 1.678$ - Processo Capaz. As porcentagens na região do terço médio referem-se à quantidade percentual de pontos nesta região.

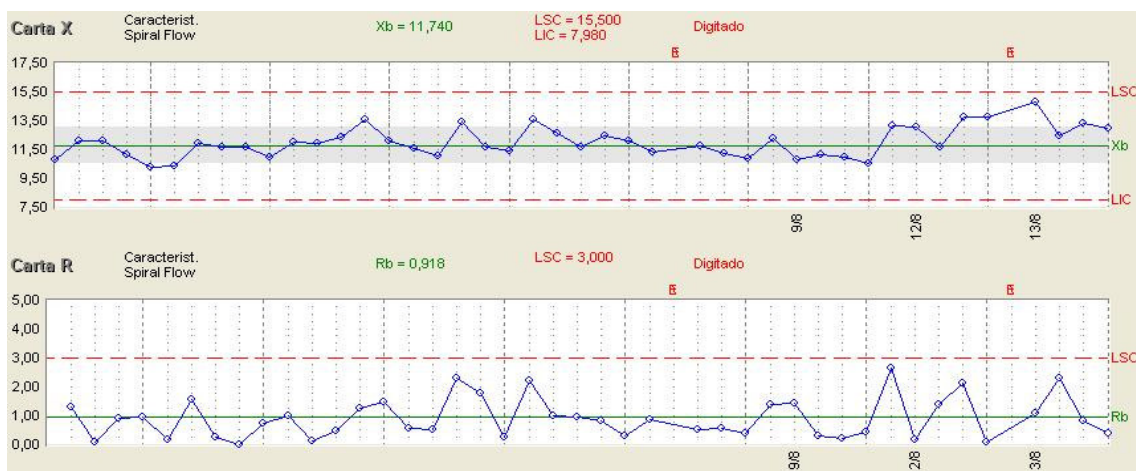


Figura 4 Carta de Médias Individuais e Amplitude Móvel para Spiral Flow. Carta Spflow. cc.

Uma carta de controle tem pouca expressão se além dos pontos plotados não forem investigadas de forma consistente as causas especiais presentes no processo. As observações destas causas são geralmente registradas em uma área definida como “diário de bordo”.

4.1 DIÁRIO DE BORDO DA CARTA SPFLOW. CC

A partir do lote 7037 mudamos a resina. 15/08 11h34min-PTO0039: Os valores de fluxo aumentaram devido ao uso do inibidor IS-802 melhorando a qualidade das peças injetadas. 26/08 09h57min-PTO0041: A partir do ponto 39 anotação anterior percebemos forte acentuação de valores próximos ao LSC indicando que ocorreu um deslocamento da média devido ao inibidor estes valores estão sendo verificados em outra carta a SPflow2.cc. 26/08 10h38min-PTO0027: Os valores a partir do ponto 39 começaram a deslocar a média do processo fechamos esta carta e iniciamos outra.

4.2 DIÁRIO DE BORDO DA CARTA SPFLOW2. CC

02/09 08h40min - PTO0036: A partir do lote 7698 paramos de usar o inibidor, a pedido do técnico do laboratório de misturas. Nota do Coordenador CEP: O inibidor pelo que foi observado nas cartas desloca a média da variável “fluxo espiral”. Por isso este ponto foi plotado muito próximo ao LSC. Na carta Spflow.cc os valores tinham media:11,74 e o composto não utilizava inibidor. 02/09 08h37min-PTO0042: A Partir do lote 7937 voltamos a usar o inibidor IS-802, pois voltou a dar porosidade nas pçs, mas estamos utilizando 50% do total 0,040 gr.

6 CONCLUSÕES

As causas especiais às quais receberam destaque nos diários de bordo foram alvos de profundos estudos orientando a troca de materiais e insumos que posteriormente foram responsáveis por resultados positivos como a redução da porosidade, trincas e bolhas nos lotes injetados.

As definições dadas pelas SETEC sobre os índices de desempenho Cpk e Ppk não foram confirmadas pela equipe de pesquisa, que usou recursos computacionais no registro de dados, os softwares usados definem um range de 5 sigmas para o calculo do Ppk. O que indica uma divisão de 5/3 resultando na constante 1,667 para o Ppk.

A estratégia de usar cartas aos pares, combinando saída – entrada dos processos fornecedor-cliente internos foi uma decisão assertiva, pois cumpriu o objetivo de auditar o processo fornecedor.

O documento Mestre das Cartas de Controle foi auditado duas vezes, as metas de redução em 50% nos valores de média e LSC foram alcançadas devido a uma ação conjunta entre os colaboradores e a observação disciplinada de um check list elaborado a partir dos diários de bordo.

REFERÊNCIAS

- AIAG, *Automotive Industry Action Group, Measurement Systems Analysis (MSA) Reference Manual*, Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, Detroit Michigan.1995.
- DINIZ, Marcelo Gabriel. *Desmistificando o Controle Estatístico de Processo*. ARTLIBER (2001)
- KANE, V. E., *Process Capability Indices*. Journal of Quality Technology, 18, 41-52. 1986
- LOPES, Oswaldo. *Tecnologia Mecânica*. EDGARD BLUCHER. SP 1983. 180p.
- MCNEESE , William. *Process Capability Part 1,2 e 3. outubro a dezembro 2004* disponível em: <http://www.spforexcel.com/articleslist.htm> especial http://www.spforexcel.com/ezine/oct2004/oct_2004.htm Business Process Improvement SPC e-zine MSA verificar: <http://www.spforexcel.com/gagerexamples.htm>.
- OAKLAND John S. *Statistical Process Control*. 5ª Ed. ELSEVIER. EUA. 2003. 460p.
- RAMOS, Alberto W. *Cep para Processos Contínuos e em Bateladas*. EDGARD BLUCHER. SP. 2000 130p
- REIS, Marcelo M. BARBETTA, Pedro A e BORNIA, Antonio C. *Estatística para Cursos de Engenharia e Informática* 1ª Ed. LTC. 2004. 414p.

SENAI-SP e GMB, *CEP: Controle Estatístico do Processo*. SP 1987. 270 p.

SETEC Consultoria, *Manual do Curso de Formação de Green Belts*. SP 2002. 7500p.

SIQUEIRA, Luis G Primo, *Controle Estatístico do Processo*. PIONEIRA. SP. 1997. 129p.

STAMATIS D. H. *Six Sigma and Beyond: Statistical Process Control*, Volume IV. LUCIE PRESS. 2003 489p

ANEXOS

Precedendo a implantação de todo o programa de Controle Estatístico do Processo, verificou-se a capacidade de reprodutibilidade e de repetibilidade do equipamento e dos operadores. O teste de spiral flow consiste em comprimir uma quantidade de BMC em um disco preparado por onde o BMC flui em um circuito espiral. BMC ou Bulk Molding Compounding é um composto de resina plástica reforçada com fibra de vidro e cargas minerais formando um termofixo. O disco de teste possui um canal que na realidade é uma rosca frontal na forma de canal. Um pistão hidráulico realiza a compressão de baixo para cima comprimindo o composto sobre uma contra-tampa. O composto então flui no canal espiral. Ao atingir a temperatura de cura cessa o escoamento. A amostra curada é colocada em um gabarito onde o operador verifica através de uma medida linear o comprimento escoado. O ensaio apresentou os resultados mostrados na tabela 5. A análise do sistema de medição, M.S.A, observando VT e TOL concluiu que se deveria melhorar o gabarito. Os operadores foram treinados e o gabarito foi modificado para um disco padrão em titânio graduado a laser. Com esta mudança o sistema de medição passou a apresentar resultados aceitáveis.

Estudo de Repetibilidade e Reprodutibilidade – Variação Total Tolerância														
Características		Dim Linear		Peças (n) = 10			Repetições r = 2			Operadores = 02				
Data		1/ago./2005		Responsável: Silvio			Especificações = 8,07a 20,47			Tolerância = 12				
Peça														
O P E R A D O R	Repetição		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Médias	
	A	1	12,1	13	15,2	14,1	15,2	15,8	14,3	15,3	15,1	15,3		14,54
		2	12,5	12,9	15,7	13,6	14,8	16,1	14,1	15,5	14,8	14,8		14,48
		Media	12,3	12,95	15,4	13,8	15	15,95	14,2	15,4	14,95	15,05	μ _A	14,51
	Amplitude	0,4	0,1	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,5	R _A	0,34	
	B	1	13,95	16	15,2	15,7	13,9	13,5	14,3	15	15,2	16,3		14,91
		2	14,2	15,9	15,1	14,8	14,3	13,7	14,2	15,2	15,2	16		14,86
		Media	14,08	15,95	15,2	15,2	14,1	13,6	14,25	15,1	15,2	16,15	μ _B	14,88
	Amplitude	0,25	0,1	0,05	0,9	0,4	0,2	0,1	0,2	0	0,3	R _B	0,25	
	Media das Médias das Peças entre AB		13,19	14,45	15,3	14,5	14,5	14,7	14,2	15,24	15,1	15,6	μ _{AB}	14,69
Repetições		D ₄	[8] R = (R _A + R _B) / Op = (0,33+0,25)/2 =							0,29	Operadores		K ₂	
2		3,27	[9] μ _{DIFF} = max - min = 14,88 - 14,50 =							0,38	2		0,707	
3		2,58	[10] U _{CLR} = R x D ₄ = 0,295*3,27 =							0,9646	3		0,523	
Repetibilidade (VE)			Repetições			K ₁			Variação					
[11] VE=R*K ₁ = 0,29*0,8862			2			0,8862			DN					
Reprodutibilidade (VO)			3			0,5908			%VT				%TOL	
[12] VO= ((μ _{DIFF} * K ₂) - (VE ² /nr)) ^{0,5}			Peças			K ₃			% VE				100[VE/DN]	
((0,38*0,707) ² - (0,257 ² /10*2)) ^{0,5}			2			0,7071			30,43%				13,07%	
R & R			3			0,5231			% VO				100[VO/DN]	
[13] R&R= (VE ² + VO ²) ^{0,5}			4			0,4467			31,06%				13,11%	
(0,257 ² + 0,2623 ²) ^{0,5}			5			0,4030			43,85%				18,52%	
Variação do Processo (VP)			6			0,3742			%R&R				100[R&R/DN]	
[14] VP = Rp * K ₃			7			0,3534			%VP				100[VP/DN]	
2,412*0,3146			8			0,3375			89,87%				37,95%	
Variação Total (VT)			9			0,3249			ndc = 1,41[VP/R&R]=2,9					
[15] VT = (R&R ² + VP ²) ^{0,5}			10			0,3146								

Tabela 5. Dados e resultados do teste de R&R. Adaptado de MCNEESE.

Observar que nr na fórmula 12 se refere ao numero de peças e operadores respectivamente. Rp é a amplitude entre os valores media das medias. O valor DN alterna assumindo o valor VT para os cálculos sob a coluna %VT e assumindo o valor: TOL/6, para os cálculos sob a coluna %TOL.