

Aplicação da Ferramenta CEP: uma Abordagem Crítica sobre a Redução Sistemática da Variabilidade Dimensional em um Processo Produtivo do Ramo Metal Mecânico

Henrique Thomé^a (thome@feevale.br); Fernanda Siqueira Souza^b (fe_ssouza@producao.ufrgs.br); Carla Schwengber ten Caten^c (tencaten@producao.ufrgs.br)

^a Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, PPGE/UFGRS, RS – BRASIL

^b Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, PPGE/UFGRS, RS – BRASIL

^c Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, PPGE/UFGRS, RS – BRASIL

Resumo

O presente estudo tem como objetivo realizar um estudo de controle estatístico de processo (CEP) em uma característica do processo de usinagem de uma indústria do ramo metal mecânico. Os resultados da aplicação do CEP proporcionaram melhorias significativas ao processo, no que diz respeito à estabilidade dimensional, contribuindo para o aumento da qualidade do produto final e redução do número de retrabalho e sucata.

Palavras-chave: Controle Estatístico de Processos, Gráficos de Controle e Controle da Qualidade.

1 Introdução

Os produtos de alta qualidade e de baixo custo integram cada vez mais o cenário competitivo atual. Empresas enfrentam lado a lado esta acirrada disputa de mercados internos e externos. O desenvolvimento do modo de vida do ser humano encontra-se em um estado de plena evolução. Os principais resultados deste processo refletem na incessante busca da sociedade em ocupar lugar de destaque no ambiente competitivo global.

Atualmente, as organizações vêm passando por contínuas e rápidas transformações para maximizar suas estratégias e resultados. Tais organizações têm almejado intensas melhorias em seus processos produtivos, não apenas por simples diferenciação, mas para atender os desejos que o mercado impõe e assegurar a vantagem competitiva sobre seus concorrentes. No cenário atual, a existência de uma empresa depende unicamente de seu pensamento estratégico, o qual visa à capacidade de desenvolver meios de produção flexíveis, de alta qualidade, com menores prazos de entrega, ao menor custo possível, e de forma contínua (PALADINI, 1994).

Decorrente da evolução de sistemas convencionais de produção, e pela necessidade de novos métodos para manter-se a frente da concorrência, o gerenciamento de processos, tema deste trabalho, tem sido desenvolvido e muito utilizado nos mais diversos segmentos da economia.

O aperfeiçoamento ou até mesmo a implantação de novas metodologias de trabalho no processo produtivo podem auxiliar as empresas a alcançar o próximo degrau na escala evolutiva, potencializando sua capacidade para competir e sobreviver. Segundo Campos (1994), diante destas metodologias, o Controle Estatístico de Processos (CEP) é uma eficiente ferramenta impulsionadora destas premissas em processos produtivos.

Através desta ferramenta, consegue-se controlar características significativas do produto e do processo, garantindo níveis de qualidade a custo exigido pelo mercado. Segundo Kume (1993), este sistema foi proposto, inicialmente, pelo Dr. Walter A. Shewhart, em 1924, como uma ferramenta para auxiliar a eliminação de variações indesejadas nos processos, pela diferenciação entre as causas comuns e as causas especiais. Os problemas decorrentes das causas especiais são imprevisíveis em

qualquer processo, já os problemas decorrentes das causas comuns podem ser identificados e estes são inerentes ao processo.

No modo tradicional, o controle exclusivo do produto acabado faz com que o risco de reprovação de grandes lotes seja elevado, aumentando os custos médios em função de anomalias no processo. No caso de um processo com CEP intermediário, o risco da produção de lotes de produtos acabados defeituosos é minimizado, uma vez que há o gerenciamento das anomalias do processo em cada etapa de fabricação do produto. Em detrimento a esta afirmativa o estudo tratará a aplicação e avaliação das metodologias empregadas no controle estatístico de processo, verificando os resultados reais do processo de implantação.

O estudo está estruturado em cinco seções. Além desta introdução, a seção dois apresenta um referencial teórico sistematizado para fundamentar o estudo. A seção três apresenta os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento do trabalho. A aplicação de um controle estatístico de processos na empresa estudada e análise do resultado é apresentada na seção quatro. Finalmente, a última seção apresenta as considerações finais sobre o presente trabalho.

2 Referencial Teórico

2.1. Controle Estatístico de Processos (CEP)

O Controle Estatístico de Processo é uma das mais eficientes metodologias desenvolvidas, visando auxiliar no controle da qualidade do produto e seus processos produtivos, usando a estatística como ferramenta para analisar a capacidade e as limitações do processo.

No Brasil, o CEP vem sendo implantado em um número cada vez maior de empresas. Várias indústrias instaladas em território nacional, tais como as montadoras de veículos, utilizam o CEP em suas matrizes e em outras fábricas no exterior. Por intermédio destas experiências, sua eficácia ficou comprovada no monitoramento e redução de problemas nestas unidades. Contudo, ainda há muito por fazer em razão da potencialidade do CEP não ter sido ainda totalmente explorada. Novas aplicações aparecem diariamente, demonstrando a sua versatilidade e importância no aumento da competitividade (RAMOS, 2000).

Segundo Ramos (2000), o CEP é conduzido simultaneamente com o processo produtivo (Controle de processo) ao invés da inspeção após a produção, onde ocorre a separação dos produtos conformes e não-conformes (Controle do produto).

Diante da Figura 1, observa-se que o processo gera um produto. Este produto ou saídas é medido e comparado a uma meta padrão e, caso a diferença justificar uma ação, então são executadas as ações necessárias para ajustar o desempenho do processo aos valores desejados (RAMOS, 2000).

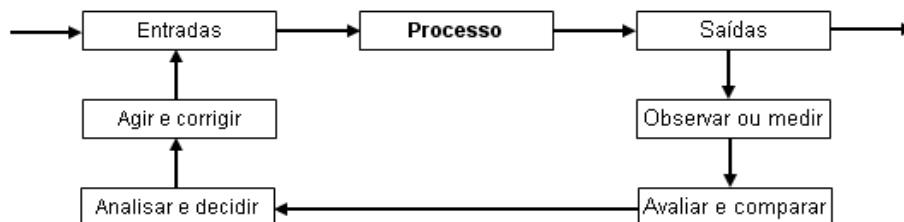


Figura 1. Ciclo de controle. Fonte: Ramos (2000).

Segundo Montgomery (2001), há certa quantidade de variabilidade em todo produto. Assim, dois produtos nunca são exatamente idênticos. No entanto, se essa diferença for grande, o consumidor pode perceber a unidade como indesejável ou inaceitável. O monitoramento desta variabilidade ao longo do tempo pode ser realizado através de gráficos de controle.

De acordo com Ramos (2000), os gráficos de controle possuem três objetivos básicos: (i) verificar se o processo estudado é estatisticamente estável, ou seja, se não há presença de causas especiais de

variação; (ii) verificar se o processo estudado permanece estável, indicando quando é necessário atuar sobre ele; e (iii) permitir o aprimoramento contínuo do processo, mediante a redução de sua variabilidade.

Assim, os gráficos de controle são fundamentais para o monitoramento do processo, examinando a variabilidade dos dados ao longo do tempo, distinguindo entre causas comuns e causas especiais. Uma causa comum é definida como uma fonte de variação que afeta todos os valores individuais do processo. É resultante de diversas origens, sem que nenhuma tenha predominância sobre a outra. Um processo é dito sob controle, ou estatisticamente estável, quando somente causas comuns estiverem presentes e controladas.

As causas especiais, esporádicas, aleatórias ou, ainda, assinaláveis são fatores geradores de variações que afetam o comportamento do processo de maneira imprevisível, e não podem ser adequadamente explicadas, onde não se é possível obter um padrão. Segundo Deming (1990), 94% dos problemas ou oportunidades de melhorias, estão relacionadas às causas comuns, enquanto apenas 6% às causas especiais, desta forma, é possível afirmar que a maior parcela de responsabilidade, quanto à redução de variabilidade, é da administração do processo, isto é, dos gerentes, engenheiros e técnicos que têm autoridade de mudar o sistema.

Montgomery (2004) define um gráfico de controle tradicional como sendo uma representação gráfica de uma variável de resposta em função do número da amostra (ou tempo). A Figura 2 exemplifica um gráfico de controle, que possui uma linha central (LC) paralela ao eixo x que representa o valor médio da variável de resposta, e duas linhas horizontais paralelas à linha central, chamadas de limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC).

Portanto, os limites de controle representam a variabilidade associada às causas comuns de variação. Caso algum ponto se localizar acima do limite superior de controle ou abaixo do limite inferior, o processo apresentou uma causa especial (falha) e não está sob controle estatístico, ou seja, não é estável e previsível.

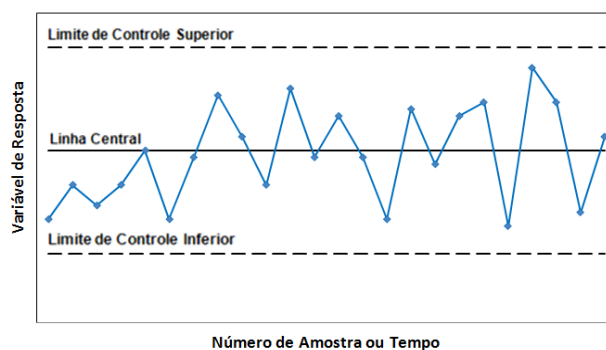


Figura 2. Gráfico de controle tradicional. Fonte: Souza *et al.* (2010).

Existem dois tipos de Gráficos de Controle: (i) gráficos de controle para variáveis, que se referem a aspectos como peso, comprimento, densidade, concentração, etc; e (ii) gráficos de controle para atributos, que estudam o comportamento de números e proporções.

O cálculo dos limites dos gráficos de controle é modificado de acordo com a natureza dos dados avaliados. Assim, os gráficos de variáveis registram as características mensuráveis do produto ou serviço - como peso, volume, dimensões, etc. O gráfico da média ou \bar{X} e o da amplitude, ou gráfico R, são os mais utilizados. A média e amplitude são definidas de acordo com as equações (1) e (2).

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (1)$$

$$R = X_{máx.} - X_{mín.} \quad (2)$$

Onde, a média, os valores amostrais e a amplitude são representados, respectivamente por \bar{X} , X_n e R . O limite de controle superior (LCS) e o limite de controle inferior (LCI) para o desenvolvimento deste gráfico são calculados através das equações (3) e (4), respectivamente. As constantes dependentes do tamanho da amostra são representadas por $D3$ e $D4$.

$$LCS = D4 \times R \quad (3)$$

$$LCI = D3 \times R \quad (4)$$

As características não mensuráveis (conforme ou não-conforme) são registradas nos gráficos de atributos, cujos principais gráficos são: gráfico p , que controla a fração defeituosa dos itens produzidos; gráfico np , derivado do gráfico p , controla a quantidade de artigos defeituosos num lote; gráfico c determina a não conformidade por item da amostra avaliada; gráfico u , controla a quantidade média de defeitos por item e é uma modificação do gráfico c . Montgomery (1994) apresenta detalhes do desenvolvimento destes gráficos de controle.

2.2 Índices de capacidade do processo

Os gráficos de controle verificam se o processo é estável ao longo do tempo, entretanto, não avaliam se este está atendendo as especificações de projeto de um determinado produto. Assim, um processo pode ser considerado estável e não capaz, ou seja, o processo é previsível ao longo do tempo, porém, não é capaz de atender as especificações de engenharia ou as especificações impostas por um cliente diante de um determinado produto. A capacidade do processo é uma medida adimensional fornecido pelos índices de capacidade, servindo como uma estratégia para alavancar a qualidade dos processos e produtos, assim como, aumentar a satisfação dos clientes.

Os índices mais utilizados são o C_p e o C_{pk} . O índice C_p representa a capacidade potencial do processo e o índice C_{pk} representa a capacidade efetiva, sendo representados pelas equações (5) e (6), respectivamente. O cálculo do desvio padrão (σ) é representado pela equação (7).

$$C_p = \frac{(LSE - LIE)}{6\sigma} \quad (5)$$

$$C_{pk} = \min(C_{ps}; C_{pi}) = \min\left(\frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma}; \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma}\right) \quad (6)$$

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

Onde, o limite superior de especificação, o limite inferior de especificação e o tamanho da amostra, são respectivamente, representados por LSE , LIE e n .

A partir dos valores calculados com os índices de capacidade é possível identificar se o processo é capaz ou não é capaz, de forma a dar subsídio à tomada de ação frente a melhorias, visto que um processo é considerado capaz se C_p e C_{pk} são maiores que 1,00. Os índices quando utilizados em conjunto, apresentam uma boa indicação da capacidade do processo (SOUZA *et al*, 2010).

3. Procedimentos metodológicos

O presente trabalho realizou-se em três etapas sendo: (i) coleta de dados; (ii) desenvolvimento do gráfico de controle com o objetivo de monitorar o processo e identificar a existência ou não de causas especiais; e (iii) análise e implantação de melhorias para aumentar a capacidade do processo.

A empresa estudada é uma multinacional alemã que desenvolve e produz ferramentas motorizadas portáteis visando facilitar a vida dos clientes, oferecendo soluções rápidas e inovadoras para o mercado agropecuário, bricolagem, florestal e serviços. O estudo deste trabalho realizou-se na unidade brasileira, situada no estado do Rio Grande do Sul.

O produto analisado é um volante de alumínio, composto basicamente de uma luva de aço para acoplamento da peça com o virabrequim, e o corpo de alumínio. O processo responsável pela manufatura de volantes é apresentado na Figura 3.

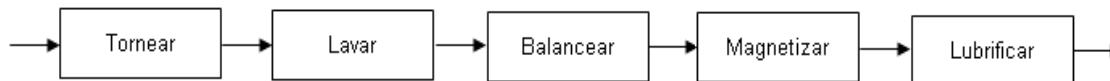


Figura 3. Fluxograma do processo.

De acordo com a Figura 3, a primeira etapa do processo de fabricação consiste em torneiar a peça. Nesta operação são usinados diâmetros externos, internos, operação esta realizada por um torno horizontal CNC (Comando Numérico Computadorizado). Na segunda etapa do processo a peça é lavada para remoção do óleo de corte utilizados no processo de usinagem, como também remoção dos cavacos e sujeira proveniente do processo. A terceira etapa do processo consiste no balanceamento da peça, ou seja, remover o peso de forma a equilibrar as forças centrífugas da peça. A quarta e quinta etapas consistem em magnetizar a peça de forma a carregar os pólos magnéticos, assim como a lubrificação da peça evitando sua oxidação.

A característica analisada neste estudo é proveniente da etapa de torneamento. O levantamento e coleta de dados serão realizados em caráter amostral. Analisa-se uma amostra mínima de trinta peças (o suficiente para a representação amostral de experimento indicado em literatura) da etapa do processo que consiste na usinagem de uma superfície cônica interna com um ângulo definido. O estudo será conduzido por análise de gráficos de controle do tipo variável, ou seja, características que podem ser mensuradas. Neste estudo, não será analisado os erros relacionados ao meio de medição, já que os estudos de MAS (*Measurement System Analysis*) estão concorrendo paralelamente ao presente estudo.

A escolha deste processo produtivo para a implantação do controle estatístico deve-se ao fato do volante ser um item de segurança do produto, e em seu funcionamento ser empregado um movimento de rotação elevado (aproximadamente 13.000 rotações por minuto). Qualquer não conformidade no produto pode gerar uma falha que venha a causar a quebra do volante e respectivamente atingir o operador da máquina. Neste projeto piloto as análises foram realizadas manualmente sem o auxílio de um software específico. Após exposição dos resultados, os mesmos serão analisados e caso necessitar intervenções, serão implementadas no processo para adequação dos índices de capacidade (C_p e C_{pk} igual ou maior que 1).

4. Estudo Aplicado e Análises dos Resultados

Foram confeccionados os gráficos de controle da média e variabilidade do ângulo do cone do volante, com diário de bordo, para registro de variações no processo. Após a coleta de dados durante trinta dias, analisou-se o gráfico de controle do processo a fim de verificar a estabilidade do mesmo.

A característica monitorada é um ângulo com dimensão máxima de $5,711^\circ$ e dimensão mínima de $5,678^\circ$, a qual é medida em uma máquina de medição por coordenadas. A média e desvio padrão foram calculadas a partir de amostras de três medições, conforme Figura 4.

Característica	Ângulo 5,711° - 0,033°	
LSE	5,711	0,033
LIE	5,678	0,000
	Média	Amplitude
1	5,689	0,002
2	5,685	0,003
3	5,689	0,002
4	5,691	0,004
5	5,683	0,006
6	5,689	0,003
7	5,683	0,000
8	5,682	0,002
9	5,687	0,004
10	5,698	0,008
11	5,704	0,007
12	5,682	0,001
13	5,684	0,002
14	5,690	0,001
15	5,699	0,007
16	5,686	0,002
17	5,698	0,007
18	5,683	0,003
19	5,680	0,004
20	5,700	0,008
21	5,689	0,003
22	5,700	0,005
23	5,709	0,010
24	5,709	0,015
25	5,704	0,007
26	5,701	0,012
27	5,710	0,006
28	5,685	0,003
29	5,693	0,002
30	5,695	0,001

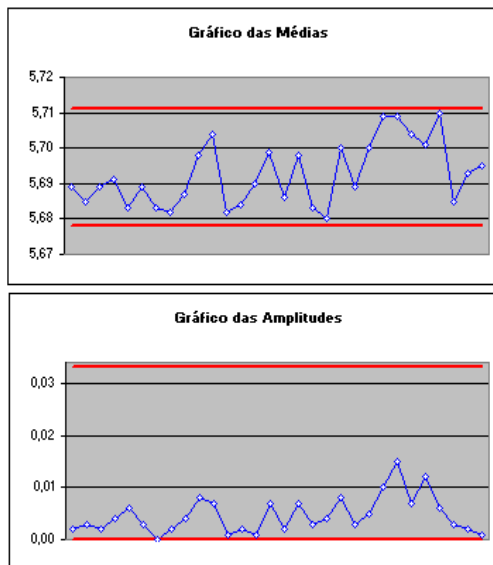


Figura 4. Dados do ângulo e respectivos gráficos de Média e Amplitude.

Os resultados das análises da característica na fase de representação gráfica indicaram um processo estável pois não foram identificados pontos fora dos limites de controle.

Como o processo é considerado estável, pode-se calcular a capacidade de acordo com os índices C_p e C_{pk} . Para o cálculo, utilizou-se a média de 5,693; desvio padrão de 0,009 e LSE e LIE de 5,711 e 5,678, respectivamente. As equações (8) e (9) apresentam os resultados destes índices.

$$C_p = \frac{(5,711 - 5,678)}{6 \times 0,009} = 0,61 \tag{8}$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{5,711 - 5,693}{3 \times 0,009}, \frac{5,693 - 5,678}{3 \times 0,009}\right) = 0,55 \tag{9}$$

Conforme os dados de C_p e C_{pk} encontrados no processo e comparando com informações de literatura sobre capacidade (C_p e C_{pk} menores que 1), pode-se concluir que o processo não é capaz, e mesmo que nenhuma amostra estivesse fora dos limites de especificação nos dados da amostra coletada, é muito provável que peças fora dos limites de especificação sejam produzidas no decorrer do processo.

Com base nas informações de C_p e C_{pk} menores que 1, é possível concluir que o processo tem variabilidade excessiva. A interpretação dos índices estatísticos norteou a análise para tomada de decisão, no que diz respeito aos ajustes necessários para atender aos quesitos de capacidade do processo.

4.1. Ajustes do Processo

A análise dos gráficos de controle do processo identificou intervalos de dados de grande variabilidade e intervalos de pequena variabilidade. Objetivou-se identificar as características do processo relacionadas aos intervalos da baixa variabilidade para que estas fossem estendidas a todo o ciclo de produção do volante de alumínio.

Após algumas rodadas de lotes de produção, constatou-se que o desgaste da ferramenta de corte tinha relação direta com o aumento da variabilidade do cone do volante. Os gráficos de controle e

respectivos diários de bordo foram de vital importância para definir o comportamento do processo, como também serviram de subsídio para definição da vida útil da ferramenta de usinagem.

O controle da vida útil da ferramenta implementado à máquina garantiu a redução da variabilidade do ângulo do cone do volante, como apresenta a Figura 5.

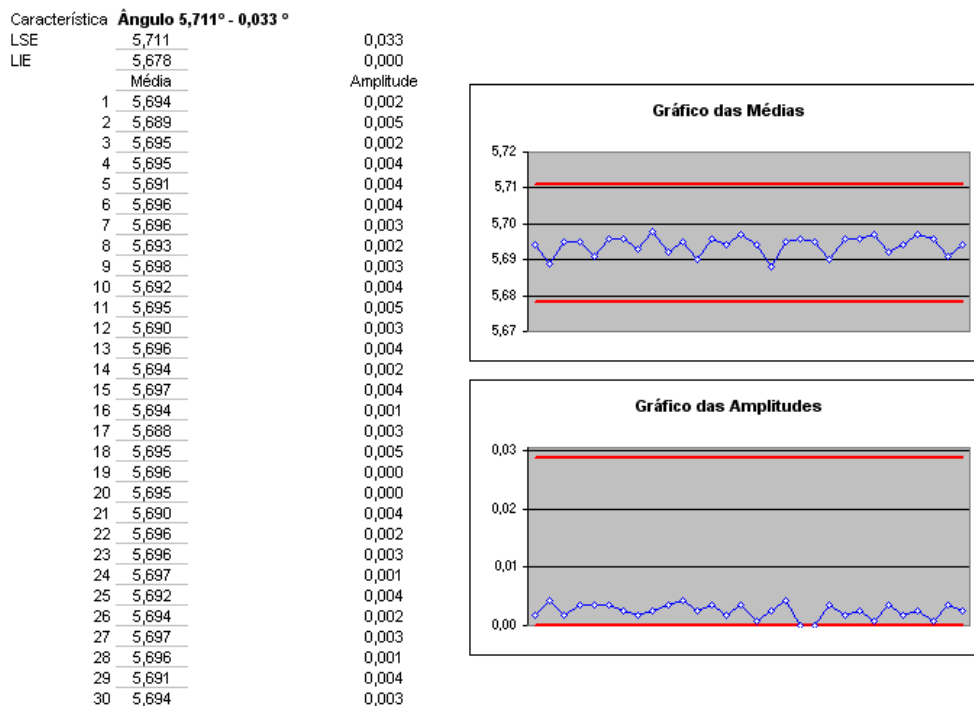


Figura 5. Dados do ângulo do volante e respectivos gráficos de Média e Amplitude (após ajuste do processo).

Os resultados das análises da característica após a implantação das melhorias indicam um processo com maior estabilidade dimensional quando comparado ao processo antes das melhorias implantadas.

Considerando o processo estável, pode-se calcular os novos índices C_p e C_{pk} . Para o cálculo, utilizou-se a média de 5,694 e desvio padrão de 0,003, obtendo-se índices conforme equações (10) e (11).

$$C_p = \frac{(5,711 - 5,678)}{6 \times 0,003} = 1,83 \tag{10}$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{5,711 - 5,694}{3 \times 0,003}, \frac{5,694 - 5,678}{3 \times 0,003}\right) = 1,77 \tag{11}$$

Conforme os valores de C_p e C_{pk} foram maiores do que 1, pode-se concluir que o processo tornou-se capaz diante das melhorias implementadas., garantindo, assim, a qualidade do produto em atendimento às especificações de produto.

Foi evidenciada uma redução no número de paradas de máquina para correção ou ajuste do ângulo do cone, ou seja, as paradas de máquina por instabilidade dimensional foram eliminadas, assim como a eliminação de sucatas e retrabalhos gerados por ajuste de máquina para correção do dimensional do ângulo do cone.

5. Conclusões

O presente estudo teve como objetivo realizar um estudo de controle estatístico de processo (CEP) em uma característica do processo de usinagem de uma indústria do ramo metal mecânico. Os resultados da aplicação proporcionaram melhorias significativas ao processo, no que diz respeito à estabilidade dimensional e ao aumento da qualidade do produto final.

O estudo buscou apresentar uma revisão geral da questão da qualidade e da utilização do Controle Estatístico de Processo como ferramenta de análise. Foram apresentadas as características principais dos Gráficos de Controle utilizados e os índices de capacidade de um processo. A aplicação de técnicas estatísticas requer um aprendizado contínuo. Além, disso o esforço de implantação, aliado ao conhecimento do processo possibilita obter melhores resultados, satisfação pessoal, que contribuem para o sucesso do processo de implantação do controle estatístico de processo.

Referências

- CAMPOS, V. F. *TQC - Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)*. 4. ed. Rio de Janeiro: Bloch Editores S.A., 1994.
- DEMING, W. E. *Qualidade: A evolução da Administração*. 1. Edição. Rio de Janeiro – RJ: Editora Marques Saraiva S.A. 1990.
- ISHIKAWA, K. *TQC – Total Quality Control – Estratégia e administração da Qualidade*. 1. Edição. São Paulo – SP: IMC Internacional Sistemas Educativos, 1986.
- JURAN, J.M. *Juran na liderança pela Qualidade*. 2. Edição. São Paulo: Livraria Editora Pioneira , 1993.
- KUME, H. *Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade*. 1 Edição. São Paulo: Editora Gente, 1993.
- MONTGOMERY, D. C. *Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade*. 4 Edição. Rio de Janeiro: Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A, 1994.
- PALADINI, E. P. *Gestão da Qualidade no Processo*. 1 ed. São Paulo: Editora Atlas, 1995.
- RAMOS, A. W. *Controle Estatístico de Processo*. 2000.
- SOUZA, F. S.; PEDRINI, D. C.; CATEN, C. S. *Índices de capacidade do processo: comparação entre índices tradicionais e índices para gráficos de controle de regressão*. 16º SIMPEP, 2010.