

## CADERNOS DO IME – Série Estatística

Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ  
Rio de Janeiro - RJ - Brasil  
ISSN 1413-9022 / v. 28 p. 33 - 46, 2010

# A IMPORTÂNCIA DOS GRÁFICOS DE CONTROLE PARA MONITORAR A QUALIDADE DOS PROCESSOS INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO NUMA INDÚSTRIA METALÚRGICA

Anderson Gomes dos Santos  
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)  
andersongsantosufcg@gmail.com

Edivan Ferreira de Lacerda  
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)  
edvan.ferreira@yahoo.com.br

Hélio Cavalcanti Albuquerque Neto  
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)  
heliocont@hotmail.com

Weidson do Amaral Luna  
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)  
weidson.a.l@gmail.com

Egidio Luíz Furlanetto  
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)  
elfurlanetto@terra.com.br

### Resumo

*Em um cenário competitivo, as empresas buscam a qualidade nos seus produtos. Para isto, é necessária a análise do empreendimento para avaliar o desempenho dos processos até o produto final, emergindo assim a importância do CEP para detectar e diminuir a variabilidade, garantido maior conformação além de redução do custo, tornando-se importante ferramenta para a competitividade. Este artigo exploratório, analisa o CEP em uma empresa metalúrgica. No início, por gráficos, foi possível verificar causas especiais, após a eliminação dessas, o processo passou a estar sob controle, porém, houve necessidade de ajuste da média do processo. Finalmente, foram sugeridas medidas para que a empresa mantivesse seu sistema produtivo sob controle.*

**Palavras-chave:** Controle Estatístico Processo, Qualidade, Metalúrgica.

## 1. Introdução

Acompanhar as constantes alterações de mercado sem perder qualidade e mantendo a eficácia no atendimento ao cliente tem sido hoje um grande desafio para as empresas e corporações. Para tal, é necessário desenvolver produtos inovadores, que possuam um padrão de qualidade e que consigam satisfazer as necessidades dos clientes, gerando vantagem competitiva frente às demais empresas.

Entretanto, a qualidade não deve ser atrelada apenas ao produto final, mas sim a todo o processo produtivo e administrativo, visto que cada produto imperfeito trás consigo desperdício de matéria-prima, tempo e energia. Quanto a isto, Shiba *et al.* (1997) colocam a participação de cada etapa do processo como pilar na construção de uma filosofia organizacional orientada à qualidade total - *Total Quality Management*. Para os autores, ao invés de simplesmente realizar o trabalho que lhe foi designado, cada etapa do processo deverá procurar satisfazer da melhor forma possível seu cliente interno ou externo.

Nesse sentido, Montgomery (2004) afirma que o Controle Estatístico de Processo (CEP) é extremamente útil, já que é uma poderosa coleção de ferramentas para a coleta, análise e interpretação de dados, com o objetivo de melhorar a qualidade por meio da eliminação de causas especiais, podendo ser utilizado para a maioria dos processos. Shiba *et al.* (1997) ainda afirmam ser este um método pelo qual se possa atingir elevado percentual de qualidade sem rejeições, desde que sejam desenvolvidos formas padronizados de correções e de *feedback* em cada etapa ao longo do processo.

Assim sendo, o presente artigo propõe-se a analisar, por meio do CEP, a fabricação de um dos componentes da linha de produtos de uma indústria metalúrgica usados na montagem de dobradiças e maçanetas de fechaduras. O estudo pôde detectar variações em suas dimensões, evidenciando a necessidade da elaboração da carta de controle, além de fornecer medidas mitigadoras para que a empresa mantenha o processo sob controle.

## 2. Fundamentação teórica

### 2.1 Causas de variabilidade do processo

Segundo Costa *et al.* (2008), a expressão variabilidade do processo está relacionada às diferenças existentes entre as unidades produzidas em um mesmo processo. Se esta variabilidade for grande, as alterações entre as unidades serão

facilmente observadas, contudo, se esta variação for pequena, as diferenças serão praticamente imperceptíveis.

Desta forma, é possível afirmar que os processos são passíveis de causas especiais, os quais são problemas ou modos de operação anormal no processo que podem ser eliminados. Estatisticamente estas causas ocasionam um efeito de deslocamento na centralidade (tirando a média do valor-alvo) da variável  $X$  e/ou alteram a sua dispersão. Alguns exemplos de causas especiais são:

- Ajuste incorreto da máquina ou desregulagem provocada pelo tempo de uso;
- Lote de matéria-prima fora das especificações;
- Operador mal treinado ou desmotivado.

Quando uma causa especial é detectada, ela deve ser imediatamente investigada com o objetivo de intervir para eliminá-la. Para isto, utilizam-se as cartas, ou gráficos de controle, que são capazes de identificar a presença destas causas nos processos.

## **2.2 Cartas ou gráficos de controle**

De acordo com Galuch (2002), *apud* Barros (2008), os gráficos de controle analisam o comportamento do processo permitindo uma atuação de forma preventiva, efetuando ações corretivas no momento em que ocorrerem desvios, mantendo-o dentro de condições pré-estabelecidas. Ainda desempenham um papel importante na aceitação do produto, pois o CEP verifica a estabilidade e homogeneidade do produto ou serviço.

Segundo Costa (1994), o método baseia-se na retirada de amostras aleatórias de tamanho  $n$  a cada  $h$  hora, devem ser coletadas para posterior cálculo da média e da amplitude amostral e assim investigar se o processo está ou não sob controle estatístico.

Um processo está sob controle estatístico quando estiver isento de causas especiais, ou seja, se na carta de controle elaborada, todos os pontos estiverem inseridos entre os Limites Superior (LSC) e Inferior de Controle (LIC), não apresentando nenhuma tendência. Segundo Souza (2002), tendência é quando se encontra uma ascendência ou descendência de sete ou mais pontos no gráfico do processo.

### **2.2.1 Condições para a construção e uso dos gráficos de controle: estimativa da variabilidade do processo**

Para a construção dos gráficos de controle é necessário conhecer o desvio-padrão ( $S$ ) do processo. Dependendo do caso em estudo, é preciso apenas estimar a média, ou avaliar se a estimativa desta está suficientemente próxima do valor alvo

estabelecido para a conformidade. Estes parâmetros devem ser avaliados durante o período em que o processo permanecer isento de causas especiais de forma que se garanta uma construção correta dos gráficos.

Segundo Costa *et al.* (2008), existem quatro formas de se estimar a variabilidade de um processo ( $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$  e  $S_d$ ), entretanto, segundo os autores as duas últimas são consideradas mais confiáveis, pois baseiam-se na dispersão dos valores encontrados entre as amostras, sendo insensíveis a causas especiais que possam alterar a média do processo e, portanto, no presente estudo a opção será por elas.

As Equações 1 e 2 apresentam o modelo matemático necessário para o cálculo destes estimadores.

$$S_c = \frac{\bar{S}}{C_4} \quad (1)$$

Onde:

- $\bar{S}$  é o desvio-padrão médio do processo;
- $C_4$  é o fator relacionado ao tamanho dos subgrupos.

$$S_d = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2)$$

Onde:

- $\bar{R}$  é a amplitude média do processo;
- $d_2$  é o fator relacionado ao tamanho dos subgrupos.

## 2.2.2 Gráficos de controle por variáveis contínuas

Nos casos em que a variável a ser observada seja contínua, depois de eliminadas as causas especiais, é necessário construir os gráficos da média amostral ( $\bar{x}$ ), o da amplitude ( $R$ ) e o do desvio-padrão ( $S$ ). Neste processo são utilizados um dos gráficos para medir a dispersão ( $R$  ou  $S$ ) e outro para detectar a centralidade do processo ( $\bar{x}$ ).

### 2.2.2.1 Gráfico da média amostral $\bar{x}$

Observadas as amostras de tamanho  $n$ , calcula-se as médias de cada amostra, e posteriormente, plota-se um gráfico no qual tem como parâmetros a linha média e os limites superior e inferior. Estes são obtidos pelas seguintes equações:

$$LSC_i = \bar{X} + 3\hat{\sigma} \quad (3)$$

$$LC = \bar{X} \quad (4)$$

$$LIC_i = \bar{X} - 3\hat{\sigma} \quad (5)$$

Onde o desvio-padrão amostral  $\hat{\sigma}$  é dado pela seguinte equação:

$$\hat{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

De acordo com Costa *et al.* (2008) e MINITAB 15 (2007), adotam-se três desvios-padrão da linha média para se evitar ajustes desnecessários que aumentem a variabilidade do processo, ocasionando investigação de causas inexistentes levando a interrupções do processo, o que aumenta os custos de implantação do CEP.

### 2.2.2.2 Gráfico da Amplitude amostral R

O gráfico da amplitude também é situado a três desvios-padrão em relação à média, utilizando procedimento semelhante à plotagem do gráfico da média amostral  $\bar{X}$ , sendo obtidos pelas seguintes equações:

$$LSC_R = d_2 \hat{\sigma}_0 + 3d_3 \hat{\sigma}_0 \quad (7)$$

$$LC_R = d_2 \hat{\sigma}_0 \quad (8)$$

$$LIC_R = d_2 \hat{\sigma}_0 - 3d_3 \hat{\sigma}_0 \quad (9)$$

## 2.3 Testes de Estabilidade

O *Automotive Industry Action Group* (AIAG) sugere as seguintes orientações para realizar testes de causas especiais MINITAB (2007).

- Teste 1: 1 ponto maior que 3 desvios-padrão da linha central;
- Teste 2: 9 pontos em sequência no mesmo lado da linha central;
- Teste 3: 6 pontos em sequência, crescentes ou decrescentes.

Testes de estabilidade com maior número de observações e até maior rigor são propostos por diversos autores, entretanto, a escolha pelos testes da AIAG foi tomada por considerar-se o processo de fabricação de peças para construção civil semelhante aquelas fabricadas nas metalúrgicas que fabricam componentes automotivos.

## 2.4 Análise da capacidade do processo

Segundo Costa *et al.* (2008) a capacidade do processo depende das especificações e da variabilidade do processo, concluindo que ela não está vinculada apenas às causas especiais onde são avaliados parâmetros funcionais do produto. Souza (2002) afirma que estes parâmetros possuem uma distribuição de probabilidade caracterizada por sua centralização e dispersão, de onde se obtêm os limites naturais.

Tais índices são parâmetros adimensionais que indiretamente medem o quanto o processo consegue atender as especificações (COSTA *et al.*, 2008). Existem inúmeros índices, porém os mais analisados são o Cp (índice de capacidade potencial) e o Cpk (índice de capacidade efetiva), como pode ser visto na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Classificação do processo com respeito a sua capacidade.

Classificação	Valor de Cpk	Descrição
Capaz	$\geq 1,33$	Está dentro dos limites de especificados, produzindo praticamente todos os produtos com qualidade.
Razoavelmente Capaz	$1 \leq Cpk \leq 1,33$	Está sujeito a frequentes ocorrências de causas especiais, necessitando ser rigidamente controlado.
Incapaz	$\leq 1$	Está produzindo uma porcentagem considerável de itens fora das especificações, o processo está fora de controle ocasionando muitos itens defeituosos e baixa qualidade nos produtos.

Fonte: Adaptado de Costa *et al.* (2008)

O ideal é que o valor de Cp seja o maior possível, pois é menos provável que o processo esteja fora das especificações, já que esse índice está relacionado com o tamanho da dispersão, ou seja, valores altos neste índice significam processos com pouca variação. Já o Cpk é o índice que leva em conta a centralização do processo.

Souza (2002) afirma que o estudo da capacidade do processo pode ser útil à redução de variabilidades, obediência do processo as especificações desejadas e no melhoramento da qualidade.

### 3. Procedimentos metodológicos

Trata-se de um estudo de caso, realizado numa indústria metalúrgica localizada na cidade de Campina Grande, Paraíba. Quanto aos fins, a pesquisa é exploratória e descritiva. Quanto aos meios utilizados, a pesquisa é bibliográfica, documental e de campo. O levantamento dos dados foi baseado na aplicação de entrevistas estruturadas *in loco*, na inferência dos pesquisadores por meio da observação não-participante, na

coleta dos documentos operacionais da empresa e pesquisa bibliográfica.

Para a análise do componente em questão, foram retiradas da linha de produção vinte amostras de tamanho dez a cada quinze minutos, durante o período vespertino. Todas as peças foram medidas com paquímetro digital Starret, devidamente calibrado. Em seguida, foram realizados cálculos das médias e amplitudes, criando subsídios para a elaboração da carta de controle a ser proposta à empresa, estes obtidos a partir do *software* MINITAB 15 (versão Demo).

#### 4. Descrição da empresa

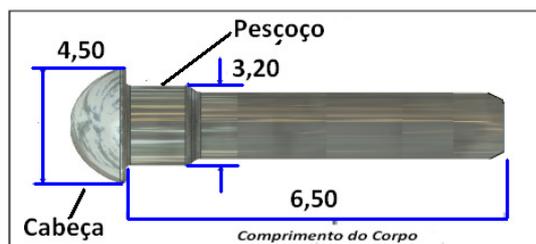
A metalúrgica onde foi realizado este trabalho possui a maior participação do mercado nordestino e produz ferragens para construção civil e movelaria, tais quais: fechaduras, parafusos, telhas, calhas, perfis metálicos, cadeados, travas, dobradiças em aço e latão. Objetivando manter nos produtos excelente padrão de segurança e qualidade, a empresa possui certificação ISO 9000:2000 na unidade de negócios Perfis e Telhas Galvanizadas e atualmente está em processo de certificação do Programa Brasileiro da Qualidade no Habitat (PBQP-H), que tem como meta combater a não-conformidade nas empresas do setor da habitação.

#### 5. Desenvolvimento do estudo

Segundo a gerência de produção, a fabricação de pinos metálicos possui demanda em grande escala por ser este uma peça componente de diversos produtos, ultimamente tem apresentado alto índice de sucata e/ou retrabalho no momento da montagem de dobradiças e maçanetas de fechaduras.

Antes de ser iniciada a coleta dos dados, foi realizado um *brainstorm* entre os pesquisadores e os responsáveis pelo setor, onde ficou evidenciado que o diâmetro do pescoço do pino seria a variável crítica neste processo, uma vez que as alterações nesta medida, mesmo pequenas, são as principais causas de peças defeituosas. A Figura 1, a seguir, exhibe as características do componente pino.

Figura 1 – Dimensões de projeto do pino



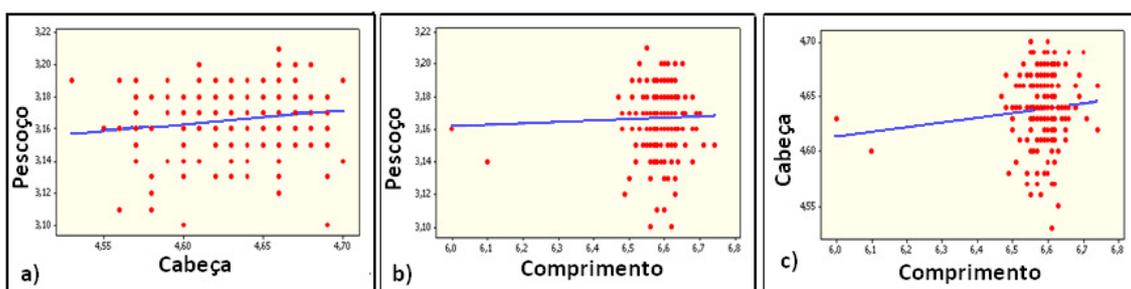
Embora a empresa esteja ampliando sua área de produção, investido na construção de novas instalações e na aquisição de novas máquinas para a montagem de dobradiças, automatizando assim esta parte do processo, esta etapa tem apresentado um elevado índice de refugo, requerendo constantemente ajustes para o acerto das mesmas, sendo por isso escolhida para o estudo.

## 6. Análise dos dados e resultados

### 6.1 Dependência entre as variáveis

A ausência de dependência entre as variáveis em estudo é uma condição necessária à aplicação dos gráficos propostos por Shewart, desta forma, foram construídos gráficos de dispersão das variáveis como meio de detectar possíveis associações entre as mesmas, conforme se apresenta na Figura 2.

Figura 2 – Gráficos de dispersão entre as variáveis, a) Cabeça x Pescoço b) Comprimento x Pescoço c) Comprimento x Cabeça

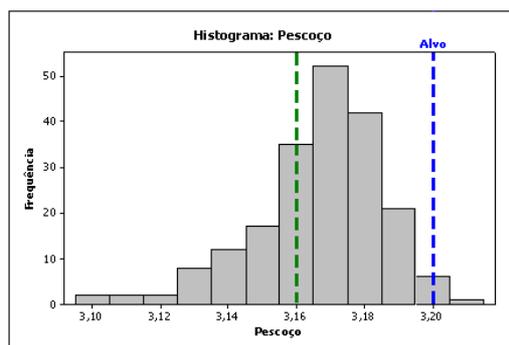


Com base na análise da figura acima, é possível afirmar que os gráficos de dispersão demonstraram não haver nenhum padrão de relação entre as variáveis, uma vez que as linhas de regressão apresentam-se relativamente planas, descrevendo funções aproximadamente lineares constantes. Observou-se maior dispersão entre os pontos no gráfico gerado por Cabeça e Pescoço. Os dois últimos gráficos revelam haver grande concentração dos pontos indicando possíveis valores para seus valores médios.

### 6.2 Distribuição estatística da variável principal

Embora não seja condição restritiva para a aplicação e utilização dos gráficos de Shewart, buscou-se verificar a que tipo de distribuição estatística estava submetido o processo. Assim, foi elaborada a construção do histograma para a variável pescoço do pino, como se observa a seguir.

Figura 3 – Histograma das variáveis cabeça, pescoço e comprimento

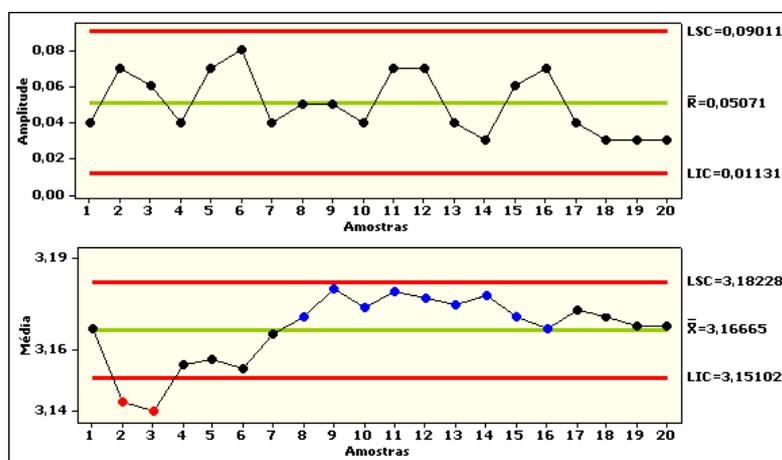


Observa-se um deslocamento considerável da média do processo em relação ao valor médio previsto no projeto, sendo necessário ajustes que pudessem levar as médias a coincidirem-se, colocando o processo em controle.

### 6.3 Criação das cartas de controle

Em seguida, como meio de se conhecer o comportamento do processo, foi plotado o gráfico de controle dos limites naturais a partir de pontos das amostras com três desvios da média. Esta etapa (apresentada na Figura 4) é crucial na análise, contribuindo com significativas melhorias no processo.

Figura 4 – Gráfico da média para a variável pescoço



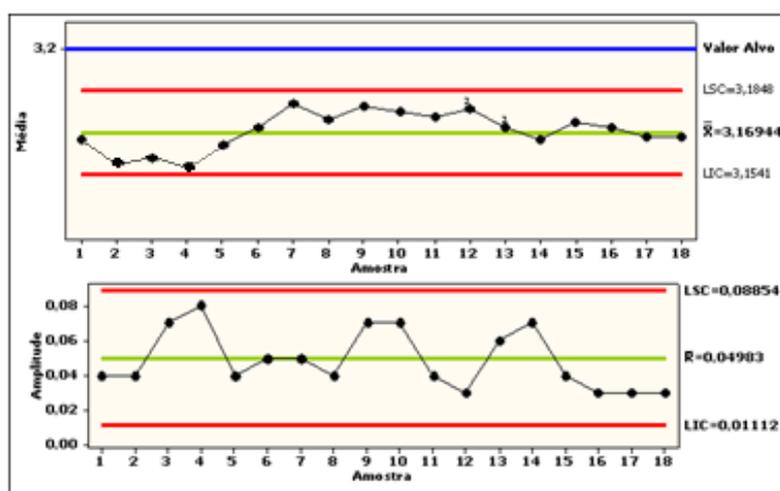
Verificou-se, conforme demonstrado na figura acima que para a amplitude, houve uma alternância significativa dentro dos limites extremos em torno da linha central, revelando haver no processo uma pequena dispersão; quanto à média, a partir dos testes de estabilidade, observa-se a presença de pontos (amostras 2 e 3) abaixo do LIC e de oito pontos (amostras 8 à 15) em sequência do lado superior da linha central, evidenciando a presença de causas especiais.

A partir dos resultados obtidos, foram feitas investigações para descobrir as causas especiais existentes no processo, nas quais duas se revelaram:

- Carência de manutenção adequada, visto que as condições ambientais e o desgaste dos equipamentos estavam acarretando uma ineficiência do maquinário;
- Falta de regulagem da máquina por curto período de tempo, devido à ausência de atenção do operador responsável pelo setor.

Sendo assim, realizaram-se ajustes necessários na máquina, e em seguida foram retirados os pontos que excederam os limites de controle naturais (pontos 2 e 3) para a variável Pescoço. Estando o processo finalmente livre de causas especiais criou-se o gráfico da média e da amplitude, conforme exhibe a Figura 5.

Figura 5 – Média e amplitude final para a variável pescoço



De acordo com os gráficos apresentados na Figura 5, verificou-se que o processo estava sob controle estatístico, uma vez que todos os pontos apresentam-se dentro dos limites naturais de controle. Porém, observa-se que no gráfico da média o LC está distante do valor-alvo de 3,20 evidenciando a necessidade de um ajuste no processo.

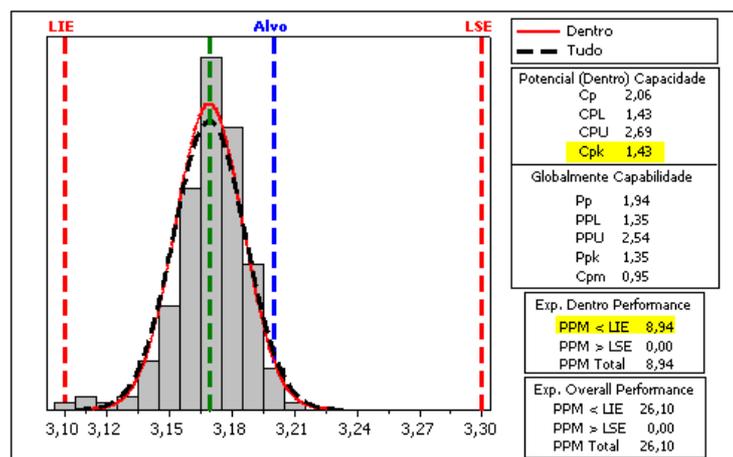
#### 6.4 Análise da capacidade do processo

Para avaliar a capacidade do processo, construiu-se o gráfico da distribuição dentro dos limites especificados, estimando os valores do  $C_p$  e  $C_{pk}$ , os quais são apresentados na Figura 6.

Observa-se que a curva vermelha (dentro das especificações) e tracejada preta (todos os itens) são quase coincidentes. De acordo com Costa *et al.* (2008), é possível

afirmar que o processo em estudo é capaz, uma vez que apresenta o valor de seu Cpk igual a 1,43. De acordo com a Tabela 1, o processo é capaz quando o Cpk for maior do que 1,33.

Figura 6 –Capacidade do processo e limites especificados e naturais



A partir das análises de desempenho do processo e do Cp e Cpk, estima-se que apenas nove itens em um milhão estão sendo produzidos fora dos limites especificados. Entretanto, foi observada a necessidade de um ajuste no processo de tal forma que o valor médio do processo (3,17) fosse aproximado à média especificada no projeto (3,20), pois o mesmo se apresentava deslocado para a esquerda do valor alvo, fato considerado grave, uma vez que itens podem estar sendo produzida em dimensões menores que as permitidas pelo projeto, podendo ocorrer a desmontagem das peças.

Desta forma, foi proposta a criação de gráficos de controle obtidos a partir do deslocamento da linha  $\bar{x}$  da Figura 6 para a linha do Valor alvo, mantendo-se a diferença entre os valores dos limites inferior e superior de controle (dispersão), obtendo como novos parâmetros do processo os seguintes valores: LSC= 3,22; LC=3,20 e LIC= 3,18.

## 7. Considerações finais

Embora a empresa na qual foi realizado o referido estudo possua certificação ISO 9000:2000 em uma de suas unidades e esteja em processo de certificação do PBQP-H, a adoção em si destes programas não garantem a qualidade dos produtos, uma vez que estes não prevêm em seus escopos a adoção de indicadores de desempenho para os processos, além de permitirem a certificação por setor. Portanto, e como propõem Shiba

*et al.*, (1997) o uso de ferramenta estatística é fundamental para que se garanta de fato qualidade nos processos e produtos de maneira global. Assim, a adoção do CEP é um fator decisivo para a geração de maior confiabilidade no processo, conferindo ganho de qualidade e produtividade, que são decisivos para a sobrevivência de um empreendimento.

Entretanto, como o estudo constatou, tais ferramentas são raramente utilizadas pelas empresas, isto se deve ao fato das mesmas desconhecerem a importância destas ferramentas e/ou não possuir profissionais capacitados para construção, implementação, e o monitoramento do processo produtivo através de cartas de controle. Desta forma, algumas sugestões e ações mitigadoras foram sugeridas à empresa deste estudo, destacando-se a importância do treinamento dos colaboradores, a manutenção preditiva e a extensão deste estudo às demais unidades da empresa.

Por fim, com o presente estudo de caso, foi possível perceber a contribuição dos recursos da estatística para a qualidade dos processos por meio do monitoramento, aderência do processo às especificações e a redução de variabilidades. Fica evidente que mesmo sendo o CEP uma ferramenta simples, esta é indispensável e muito eficiente para monitorar os processos produtivos, permitindo que as empresas acompanhem de forma consistente as capacidades de seus processos.

## Referências

- COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle Estatístico da Qualidade**. 2. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2008.
- COSTA, A. F. B. X Charts with Variable Sample Size. **Journal of Quality Technology**, vol. 26, n.3, p. 155-163,1994.
- COSTA, A. F. B. X Chart with Variable Sample Size and Sampling Intervals. **Journal of Quality Technology**, vol.29, n. 2, p. 197- 204,1997.
- MINITAB. **Conheça o Minitab 15 para Windows**. 1. ed. São Paulo: Editora Minitab Inc., 2007.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. São Paulo: Ed. LTC, 2004.
- PEDRINI, D. C.; CATEN, C. S. T. Gráficos de Controle  $\bar{x}$  e  $S$  com Tamanho de Amostra Variável e Análise de Capacidade para Dados Não-normais: Um Estudo Aplicativo. **Revista Produto & Produção**. Vol. 4, número especial, p.72-85, 2000.
- SHIBA, S.; GRAHAN, A.; WALDEN D. **TQM: Quatro Revoluções na Gestão da Qualidade**. São Paulo: Bookman, 1997.

SOUZA, G. R. Implantação do Controle Estatístico de Processo em uma Empresa de Bebidas. **Dissertação** apresentada ao Mestrado profissionalizante em engenharia da Universidade do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.

## **THE IMPORTANCE OF CONTROL CHARTS FOR MONITORING THE QUALITY OF INDUSTRIAL PROCESSES: A CASE STUDY IN METALLURGICAL INDUSTRY**

### **Abstract**

*Companies are seeking for quality in their products in a competitive scenario. To do this, it is necessary to analyze the enterprise to evaluate the performance of procedures until the final product, emerging the importance of the Statistical Process Control (SPC) to detect and reduce the variability, guaranteed greater conformation beyond cost reduction, becoming an important tool for to be competitive. This exploratory article examines the SPC on a metallurgical company. In the beginning, due the graphics, it was possible to verify special causes, after these elimination, the process is now under control, however, there was need to adjust the process mean. Finally, were suggested adjustments for the company to keep its production system under control.*

**Keywords:** *Statistical Process Control, Quality, Metallurgical.*