Avaliação do processo de pintura eletrostática utilizando ferramentas do controle estatístico de processo

João Vinícius Hunoff Marchett (UNIFTEC)
jv.marchett@hotmail.com
Mônica Pasolini (UCS)
monipasolini@hotmail.com

Resumo: *O objetivo principal deste trabalho é aplicar o CEP para avaliar a capacidade do processo de pintura eletrostática de uma empresa metal mecânica. Esta análise se dá em virtude da alta competitividade do mercado em que as empresas tem buscado maior eficiência administrativa e operacional. Por meio da coleta de dados de amostras de camadas de tinta de três cores e utilizando os parâmetros estabelecidos pela empresa para o LIE e LSE, construíram-se as cartas de controle do processo. A capacidade do processo foi analisada com a aplicação do controle estatístico de processo, por meio do cálculo do* C_{pk}*, e com os resultados obtidos para o processo de pintura das três cores pode-se concluir que o processo é considerado incapaz e exige controle constante, pois os valores resultaram entre 0 e 1,0. Como trabalhos futuros, sugere-se a implantação de outras ferramentas da qualidade, que visem solucionar os problemas do processo e desta forma reduzir a variabilidade do produto.*

Palavras Chave: Qualidade, Cartas de controle, Capacidade do processo, CEP.

1. Introdução

Atualmente, em virtude da alta competitividade do mercado as empresas tem buscado maior eficiência administrativa e operacional. Há uma crescente preocupação nas empresas não só em manter, mas em incrementar seu desempenho no que diz respeito à qualidade e a produtividade devido às exigências do consumidor e do mercado (SILVA et al, 2014; VILAÇA; OLIVEIRA, 2011).

A variação nas características da qualidade para Exler e Lima (2012) é recorrente das diferenças possíveis em relação aos componentes básicos dos processos, ou seja, materiais,

mão-de-obra, máquinas, métodos, medição e meio ambiente. Logo, se há variação, a utilização de técnicas e métodos para o controle e redução da mesma torna-se útil para a otimização e aperfeiçoamento dos processos.

Vilaça e Oliveira (2011) destacam que as técnicas estatísticas analisam o comportamento do processo de fabricação, de maneira a tomar decisões e efetuar ações corretivas que permitam mantê-lo dentro de condições preestabelecidas (Montgomery, 2013). Essas técnicas têm como objetivo evitar a produção de itens de qualidade insatisfatória, melhorando e assegurando a qualidade da produção para satisfazer os consumidores, reduzindo os custos de fabricação, evitando refugo e retrabalho, maximizando a produtividade, identificando e eliminando as causas de perturbações do processo.

A técnica de controle estatístico de processo (CEP) é uma das ferramentas estatísticas que permite a visualização de anomalias no processo e consequente melhoria da qualidade e produtividade nas empresas (SILVA et al, 2014). Essa ferramenta pode ser classificada como um método preventivo, por meio do qual se identifica tendências e variações significativas do processo, com dados estatísticos (NIKKEL, 2007).

Nesse sentido, surgiu a oportunidade de aplicar a técnica de controle estatístico de processo no setor de pintura pó de uma indústria metalmecânica localizada na Serra Gaúcha, para analisar a capacidade do processo. Assim, no desenvolvimento deste trabalho, aplicaram-se as cartas de controle para análise dos dados coletados referentes à três cores de pintura, utilizando os limites de controle definidos pela empresa.

2. Referencial bibliográfico

Nesta seção será apresentado o referencial teórico necessário para o entendimento dos conceitos, assim como da aplicação da técnica escolhida. Serão abordados, como tópicos principais, o controle estatístico de processo (CEP), fornecendo subsídios para a análise da variabilidade do processo de pintura pó, objeto deste estudo.

2.1 Controle estatístico de processo

O controle estatístico de processo (CEP) é uma ferramenta muito utilizada na indústria para a melhoria dos processos. Com a utilização desta ferramenta podemos obter ótimos resultados como prevenção de defeitos e aumento da produtividade (Montgomery, 2013). De acordo com Galuch (2002) o CEP utiliza as técnicas estatísticas e as ferramentas de qualidade para analisar o comportamento do processo. Assim podem-se efetuar ações corretivas que permitam mantê-lo dentro de condições preestabelecidas eliminando as causas da variação do processo.

Sommer (2000) complementa afirmando que o CEP é uma ferramenta que atua no processo produtivo de maneira preventiva, comparando continuamente os resultados obtidos com um padrão estabelecido pela empresa. De maneira geral, para que um determinado produto atenda as exigências do cliente é necessário que o processo ocorra em condições conhecidas e controladas a fim de reduzir as variações nas características do produto (WERKEMA, 2006).

O CEP objetiva aumentar a capacidade dos processos e possibilitar um controle eficaz da qualidade, reduzindo refugo e retrabalho, assegurando que as condições irão se manter dentro de limites preestabelecidos e indicando quando devem ser tomadas ações de correção e melhoria. Assim, proporciona às empresas a base para melhorar a qualidade de produtos e serviços e, juntamente, reduzir significativamente o custo de produção no processo (RIBEIRO; CATEN, 2012).

2.2 Cartas de controle

As cartas ou gráficos de controle são as principais ferramentas utilizadas para acompanhar o desempenho de um processo a partir da definição de uma faixa de controle aceitável e analisar as tendências e padrões que acontecem ao longo do tempo. Seu objetivo principal é monitorar um processo, verificando se ele está sob controle estatístico, indicando sua faixa de variação e desvios de parâmetros, logo reduzindo a quantidade de produtos fora das especificações (Alencar et al, 2005). Montgomery (2013) complementa que um processo está sob controle quando tem variação devido a causas comuns ou causas aleatórias.

As cartas de controle, segundo Diniz (2001), seguem um plano geral com algumas adaptações para casos específicos, porém todos se baseiam na distribuição normal constituindo um instrumento para o controle estatístico de processo. Esta ferramenta dispõe dos dados de forma a permitir a visualização da dispersão dos itens de controle. Através dos gráficos é possível controlar o comportamento das variáveis, com inspeção por amostragem, monitorando e estimando os parâmetros dos produtos ou processos.

A característica típica de um a carta de controle é de fazer uma representação gráfica de dados coletados ao longo do tempo, onde as variações se situam entre os limites de controle especificados. As cartas apresentam uma linha central (LC), que consiste do valor médio das amostras coletadas, uma linha superior e inferior denominadas respectivamente como limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC). Ambos os limites ficam a uma distância de três desvios-padrão da média ou alvo do processo ($\mu \pm 3\sigma$) originalmente sugerido por Shewhart em 1931. Os limites de controle representam as características do processo e são utilizados como base para definir se o processo está ou não sob controle estatístico (MONTGOMERY, 2013).

O limite de especificação superior (LSE) e limite de especificação inferior (LIE) são determinados com base em especificações do projeto do produto e podem ter origens distintas, é aquilo que se deseja obter no resultado do processo em termos de variação para atender as expectativas e necessidades do cliente (VILAÇA, 2010).

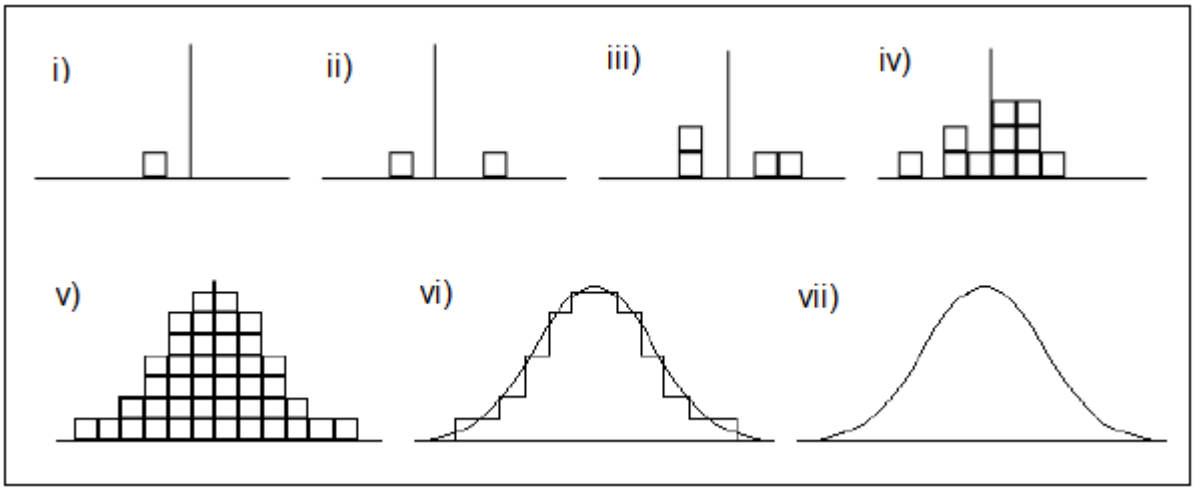
2.3 Variabilidade: causas comuns e causas especiais

A variabilidade é um fenômeno comum nos itens provenientes de um processo industrial, independentemente do quão bem ele seja conduzido. Segundo Ribeiro e Caten 2012 as fontes de variação que ocorrem em um processo de fabricação podem agir de formas diferentes sobre o processo, sendo distinguidas em dois modelos principais: i) causas comuns e ii) causas especiais.

A variação ocasionada por causas comuns é relativa ao processo e atuam de forma aleatória. Essa variabilidade representa o padrão natural do processo e é resultante do somatório de pequenas causas que acontecem diariamente, mesmo trabalhando sob condições normais de

operação. Um processo que apresenta apenas causas comuns atuando é considerado como estável ou sob controle, pois a quantidade de variabilidade se mantém em uma faixa estável ao longo do tempo (Ribeiro; Caten, 2012). Devido à variabilidade inerente do processo, as medidas individuais de uma inspeção são todas divergentes entre si, mas quando reunidas elas tendem a formar um padrão. Quando o processo está sob controle, esse padrão pode ser representado por uma distribuição de probabilidade, como podemos observar na Figura 1.

Figura 1 - Distribuição de probabilidade de um processo sob controle.



Fonte: Adaptado de Ribeiro e Caten (2012)

As causas especiais de variação surgem esporadicamente e não seguem um padrão aleatório, são causas muitas vezes inevitáveis que podem ou não ser conhecidas (desgaste nos equipamentos, erros de setup, admissão de novos funcionários, etc.). São consideradas falhas de operação. Elas fazem com que o processo se disperse de seu padrão natural de operação provocando variações nas características do produto e reduzindo significativamente o desempenho do processo (RIBEIRO e CATEN, 2012).

2.4 Capacidade do processo

A capacidade de um processo remete em fabricar produtos cujos resultados atendam as especificações do projeto ou as especificações utilizadas pela empresa. A relação entre os níveis de variabilidade do processo e os limites de especificação é feita através da análise da

capacidade do processo. Segundo Sommer (2000) e Montegomery (2013) podemos classificar um processo quanto a sua capacidade de duas maneiras:

a) processo capaz: quando os resultados das medições encontram-se dentro dos limites especificados no projeto, ou seja, estatisticamente não estão sendo fabricados produtos defeituosos;

b) processo não-capaz: quando os resultados das medições encontram-se fora dos limites especificados no projeto, ou seja, estatisticamente existem indicações que estão sendo fabricados produtos defeituosos.

Para se medir o quanto o processo é capaz em atender as especificações são utilizados dois índices (Montgomery, 2013). O primeiro é o índice de potencial do processo (C_p) que se preocupa com a centralização do processo, isto é, com a média calculada do processo ($\bar{X}$) em relação aos limites de especificação. Este índice é calculado através da Equação 1.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (1)$$

Onde:

C_p – índice de potencial do processo;

LSE – limite superior de especificação;

LIE – limite inferior de especificação;

σ – desvio padrão.

Ao se calcular o índice de capacidade, é verificado se o processo está ou não atendendo aos limites de especificações. Se o valor encontrado for maior ou igual a um, diz-se que o processo é capaz, consequentemente se o valor encontrado for menor que um, diz-se que o processo não é capaz.

O segundo é o índice de desempenho do processo (C_{pk}), que representa uma medida de dispersão e de posição, ou seja, mede quantos três desvios-padrão estão situados em relação ao intervalo entre a média do processo e um dos limites especificados. O índice de desempenho do processo pode ser calculado utilizando as Equações 2, 3 e 4.

$$C_{pk} = min(C_{pi}, C_{ps}) \quad (2)$$

$$C_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad (3)$$

$$C_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad (4)$$

Onde:

C_{pk} – índice de desempenho do processo;

LSE – limite superior de especificação;

LIE – limite inferior de especificação;

σ – desvio padrão;

μ – media dos valores;

C_{pi} – índice de potencial do processo inferior;

C_{ps} – índice de potencial do processo superior.

Para que o processo seja considerado ótimo e sob controle, o valor do índice C_{pk} deve ser maior ou igual a 2. Quando o valor de C_{pk} estiver entre os valores de 1,33 e 2, o processo é considerado capaz e deve ser monitorado. Já quando o valor de C_{pk} estiver no intervalo entre 1,0 e 1,33, o processo é considerado parcialmente incapaz e exige controle constante, quando o valor de C_{pk} estiver entre 0 e 1,0, exige que toda a produção fique sob monitoramento, pois há a possibilidade da fabricação de produtos defeituosos. Por fim quando o valor de C_{pk} for

negativo, o processo é considerado totalmente incapaz e também exige que seja monitorada continuamente a produção (MONTEGOMERY, 2013; SOARES, 2003).

3. Metodologia de aplicação

No presente trabalho buscou-se verificar a capacidade do processo de pintura eletrostática. Essa análise foi feita com a utilização das cartas de controle, ferramenta do controle estatístico do processo. Desta forma, o trabalho tem uma abordagem quantitativa, na medida em que é realizada a aplicação de ferramentas da qualidade para a análise do problema. Além disso, pode ser classificada como uma pesquisa de natureza casual, visto que estabelece a relação entre os valores variáveis do processo e seus efeitos sobre a qualidade do produto.

Com isso, o presente trabalho utiliza o método de estudo de caso para concluir seu desenvolvimento. Para Yin (2001), o estudo de caso pode ser classificado tanto por seu conteúdo quanto pelo seu propósito final ou ainda pela quantidade de casos (caso único – holístico ou incorporado ou casos múltiplos – também categorizados em holísticos ou incorporados). Existe uma predisposição destes tipos de estudo para que eles justifiquem o motivo pelos quais as decisões foram tomadas, bem como parâmetros de implementação e resultado final. Portanto, para atingir o objetivo deste trabalho foram definidas quatro etapas desenvolvidas no estudo. As etapas do trabalho estão listadas na sequência:

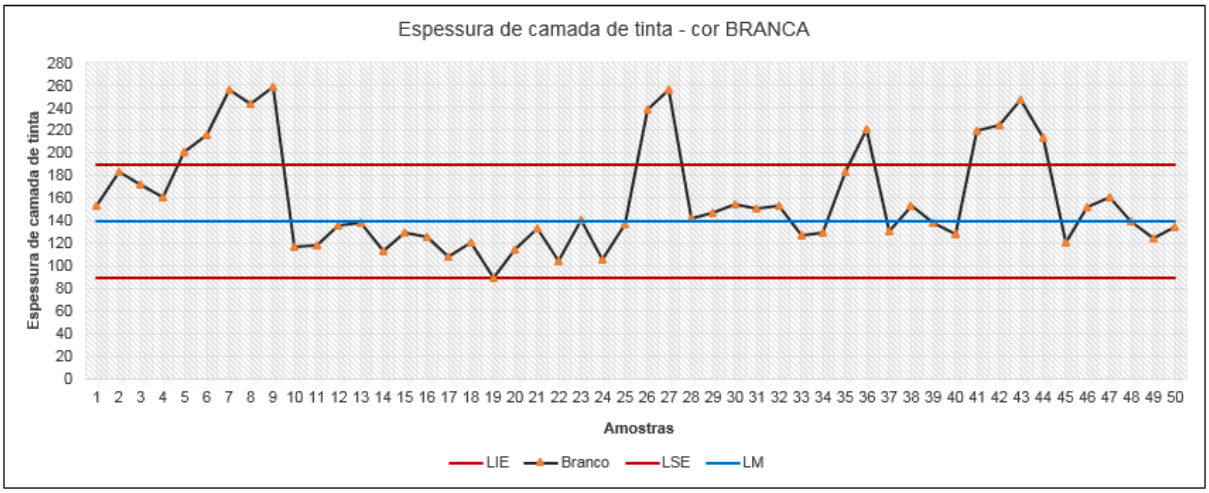
a) coleta de dados: foram analisadas as camadas de pintura das peças com auxílio de um medidor de camada calibrado. A análise foi feita em três processos de pintura de cores diferentes, com as mesmas especificações de camada e em cada um deles foram coletadas 50 amostras;
b) análise de dados: para análise dos dados utilizaram os limites de controle do processo estabelecidos pela empresa, sendo o LIE (Limite Inferior de Especificação) de 90 µm e o LSE (Limite Superior de Especificação) de 190 µm e o LM (Limite médio) dos limites LIE e LSE;
c) carta de controle: foi utilizada para mostrar graficamente a distribuição dos pontos coletados ao longo das amostras das três cores, bem como os limites naturais de controle do processo;

d) capacidade do processo: utilizaram-se as equações descritas na seção 2.4 para fazer a análise da capacidade do processo das três cores.

4. Resultados e discussões

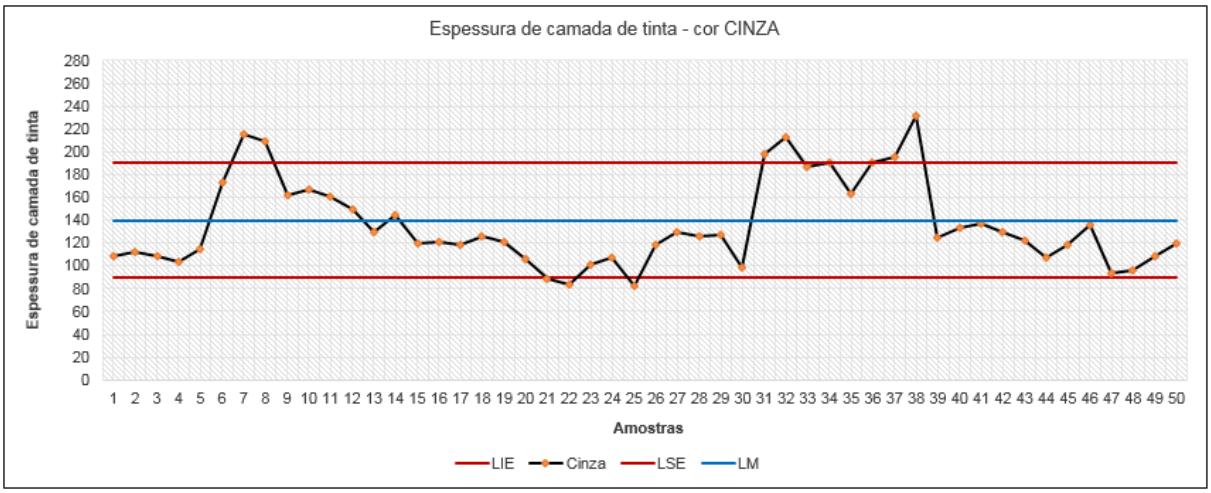
Neste tópico apresentam-se os resultados obtidos com a realização das etapas descritas na seção 3 deste estudo. Com a coleta dos dados foram obtidas as cartas de controle das Figuras 2, 3 e 4 respectivamente dos processos de pintura da cor branca, cinza e amarela.

Figura 2 - Carta de controle cor branca



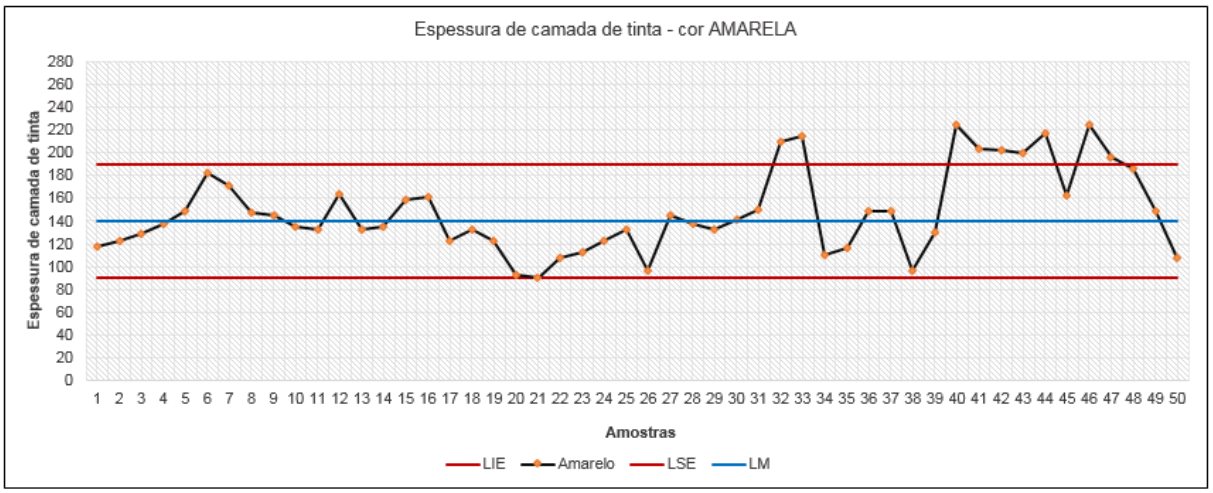
Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Figura 3 - Carta de controle cor cinza



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Figura 4 - Carta de controle cor branca



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Analisando os gráficos das cartas de controle, é possível identificar pontos acima e abaixo dos limites de especificação, indicando que há variabilidade no processo. Isso é justificado devido ao problema que a empresa enfrenta no método utilizado para fixação das peças na monovia da pintura eletrostática. Nos casos onde as amostras registraram camada de tinta superior ao LSE é devido ao escorrimento e acúmulo do excesso da tinta durante o processo de pintura, geralmente ocorridas nas partes inferiores e com presença de declive. Já onde a tinta estava com espessura abaixo do limite inferior de especificação é a área onde há sobreposição das gancheiras de fixação sobre a superfície da peça.

Após, para analisar a capacidade do processo, utilizou-se as Equações 1, 2, 3 e 4. Os resultados obtidos estão na Tabela 1.

Tabela 1 - Capacidade do processo

Cor BRANCA		**Cor CINZA**		**Cor AMARELA**	
Cp=	**0,36**	**Cp=**	**0,44**	**Cp=**	0,46
Cpi=	0,50	Cpi=	0,41	Cpi=	0,53
Cps=	0,22	Cps=	0,22	Cps=	0,39
Cpk=	**0,21**	**Cpk=**	**0,22**	**Cpk=**	0,39

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Analisando os resultados da Tabela 1 pode-se afirmar que o processo é considerado parcialmente incapaz e exige controle constante, pois os valores de C_{pk} de todos as três cores resultaram entre 0 e 1,0. Isso indica que pode haver produtos defeituosos sendo fabricados.

5. Considerações finais

Nesta pesquisa, escolhe-se aplicar o CEP para avaliar a capacidade do processo de pintura eletrostática de uma empresa do ramo de atuação metalmecânico. Foram realizadas as análises com a aplicação das cartas de controle em três amostras de cores de tintas diferentes: branco, cinza e amarelo.

Como resultados desse trabalho, conclui-se que o processo de pintura é considerado incapaz, visto que em todas as três amostras os valores de C_{pk} ficaram entre 0 e 1,0. Desta forma, necessita ser acompanhado, considerando os conceitos descritos por Montgomery (2013) e Soares (2003). Ressaltasse que o critério de escolha de três cores de tinta foi imprescindível para a avaliação dos resultados das cartas de controle e do cálculo da capacidade do processo, permitindo efetivamente visualizar a dispersão e os problemas contidos na etapa de pintura.

Pode-se concluir que a aplicação do CEP, neste estudo de caso, se mostrou satisfatório para avaliar e oportunizar critérios de melhoria, mostrando que problemas atuais afetam a qualidade do produto final e precisam ser tratados para melhorar a capacidade do processo.

Desta forma, para trabalhos futuros, sugere-se a implementação de outras ferramentas de qualidade para desenvolver as melhorias necessárias no processo de pintura eletrostática, criando planos de ação que visem a redução da dispersão da camada de tinta, mantendo entre os limites de especificação definidos pela empresa. Após, recomenda-se aplicar novamente as cartas de controle para reavaliar o processo.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, J. R. B.; SOUZA, M. B. Jr.; NETO, P. J. R.; LOPES, C. E. Uso de controle estatístico de processo para avaliação da estabilidade e validação da fase de compressão de formas farmacêuticas sólidas. **Acta Farmacêutica Bonaerense**, v. 24, n. 3, p. 426-435, 2005.

DINIZ, M. G. **Desmistificando o Controle Estatístico de Processo**. São Paulo: Artliber, 2001.

EXLER, R. B.; LIMA, C. J. B. de.; Controle estatístico de processos (CEP): uma ferramenta para melhoria da qualidade. **Revista de Administração e Contabilidade**, v. 4, n. 3, p. 78-92, set./dez., 2012.

GALUCH, L. **Modelo para Implementação das Ferramentas Básicas do Controle Estatístico do Processo – CEP Em Pequenas Empresas Manufatureiras.** 2002. 86 f – Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

NIKKEL, W. **Estatística Aplicada à Produção.** 2007. Disponível em <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM267/Apostila-Estatistica%20Aplicada-a-Producao-TM267.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2019.

RIBEIRO, J. L. D.; CATEN, C. S. ten. **Série monográfica Qualidade: controle estatístico do processo.** 2012. Disponível em <http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/388_apostilacep_2012.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2019.

SILVA, T. A. L; SILVA, H. A. da; SANTOS, D. Q.; RODRIGUES, E. C. Utilização do controle estatístico de processo (CEP) na avaliação de uma estação de tratamento de efluente agroindustrial. **Revista Virtual Química**, v. 6, n. 2, p. 310-322, 2014.

SOARES, V. L. M. P. **A aplicação e implantação do controle estatístico de qualidade em pintura industrial.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SOMMER, W. A. **Apostila de avaliação da Qualidade**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis: UFSC, 2000.

VILAÇA, A. C. **Estatísticas no Controle de Qualidade na Indústria de Alimentos**. Apostila do curso de Pós-Graduação em controle de qualidade na indústria de alimentos, Uberaba, 2010.

VILAÇA, A. C.; OLIVEIRA, R. C. B. Utilização do controle estatístico de processo para avaliação de peso de massas para pastel. **FAZU em Revista**, n. 8, p. 137-146, 2011.

WERKEMA, M. C. C. Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. Belo Horizonte: Werkema, 2006.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e método**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001, 205p.