

Avaliação da estabilidade e capacidade do processo de envase de requeijão cremoso – um estudo de caso

Bethania Mayra Barros e Silva (UFV) bethaniamb@gmail.com

José Ivo Ribeiro Júnior (UFV) jivo@ufv.br

Resumo: Diante do atual mercado competitivo e globalizado, as empresas se vêm diante da premissa de que a qualidade em produtos e serviços não é mais um diferencial, mas uma obrigação. Uma forma de se mensurar a qualidade, traduzindo-a na forma de especificações e fazendo quantificações de tais, é através do controle estatístico de processos (CEP). O presente trabalho, desenvolvido em uma indústria de laticínios de médio porte localizada na zona da mata mineira, buscou mensurar o peso da embalagem de requeijão cremoso em relação à sua média e variabilidade. Foram feitas as coletas dos pesos das embalagens durante 23 dias, com amostragens a cada 15 minutos de produção. Os resultados indicaram que o processo em questão não é estável e sua capacidade é muito baixa, possuindo classificação inferior a 2 sigma. Em função dos limites de especificação terem sido utilizados para o controle do processo, ocorreu uma alta estimativa de variabilidade, gerando falta de capacidade e processo sem margem de segurança em relação ao intervalo de especificação do peso. Este resultado sugere que a metodologia Seis Sigma ainda não está difundida e não é vista como necessária à melhoria da qualidade em processos com pequenas e médias produções.

Palavras-chave: Controle Estatístico de Processos; CEP; Envase.

1. Introdução

No atual ambiente empresarial, marcado pela globalização, abertura de mercados e, conseqüentemente, com novos paradigmas na economia, torna-se bastante necessário o compromisso das empresas com o contínuo aperfeiçoamento de seus produtos, processos e eliminação de desperdícios, para assim se manterem competitivas no mercado.

De maneira geral os preços de vendas têm sido determinados pelo mercado, devido à concorrência acirrada, vê-se então a necessidade de se administrar a eficiência e não mais simplesmente repassar aos consumidores de eventuais ineficiências nos processos produtivos. Neste contexto, produtos com “qualidade” passam a ser uma imposição.

O principal objetivo da empresa deve ser reduzir custos, para que consiga manter ou ampliar sua margem de lucro (Margem de Lucro = Preço de Venda – Custo). Assim, a maior ou menor margem de lucro depende do controle de custos. Tal redução de custos é conseguida aumentando-se a Qualidade dos produtos/serviços, que tem seu ápice nos Programas *Seis Sigma*.

Segundo Rotondaro et al. (2002), *Seis Sigma* é uma estratégia gerencial de mudanças para acelerar o aprimoramento em processos, produtos e serviços. O termo sigma (σ) mede a capacidade do processo em trabalhar livre de falhas. Quando se fala em *Seis Sigma* significa redução de variação no resultado entregue aos clientes numa taxa de 3,4 falhas por milhão ou 99,99966% de perfeição.

A realização deste trabalho visou obter informações do comportamento do processo de envase de requeijão cremoso em determinada indústria de laticínios, com relação a sua média e variabilidade, buscando identificar, com relação a requisitos internos e externos, sua estabilidade e capacidade. Foi verificado se o processo em questão tem capacidade *Seis Sigma* ou o quão próximo disso ele está.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Estabilidade

A avaliação da estabilidade de um processo é feita com o objetivo de analisar o comportamento estatístico do mesmo ao longo do tempo. Em tais processos, apenas causas aleatórias são responsáveis pelas variações. A estabilidade é usualmente medida através dos gráficos de controle, através do monitoramento da média e da variabilidade da característica avaliada. De modo geral, existem dois tipos de causas, aleatórias e especiais, envolvidas na variação dos valores das características de qualidade. Em um processo estável (sob controle estatístico), apenas causas aleatórias estão presentes. Já em processos fora do controle estatístico, causas especiais também atuam, gerando alterações significativas na média e desvio padrão da característica medida (RIBEIRO JÚNIOR, 2013).

O histograma consiste em resumir os valores observados da característica de qualidade dispostos no eixo x, por meio do agrupamento dos mesmos em classes e com as suas respectivas frequências apresentadas no eixo y. Desse modo, é possível visualizar a distribuição desses valores, que pode apresentar diferentes configurações em termos de posição, de variação e de formato. Ele é uma representação gráfica de uma distribuição de frequências por meio de colunas justapostas. Quando todas as classes apresentarem o mesmo intervalo, a altura de cada coluna será proporcional à frequência ou ao percentual daqueles que assumem valores no intervalo correspondente (RIBEIRO JÚNIOR, 2013).

2.2. Capacidade

A capacidade de um processo é a medida para se quantificar o desempenho de um processo produzir itens que atendem ou não à especificação. Os índices de capacidade são números adimensionais.

Para verificar a capacidade de um processo de acordo com os índices, será necessário que ele seja estável (sob controle estatístico) e que a variável-resposta Y tenha valores aleatórios normais e independentemente distribuídos, para tal devendo-se estimar μ_Y e σ_Y .

2.2.1. Índice C_p

O índice de capacidade C_p relaciona aquilo que deve ser produzido com a variabilidade aleatória do processo, cuja estimativa é definida por:

$$\hat{C}_p = \frac{LSE - LIE}{6s_Y}.$$

A definição do índice C_p assume:

$\bar{y} \cong VN$, em que:

$$LSE - \bar{y} \cong \bar{y} - LIE.$$

Isso implica que o índice C_p representa o limite de especificação, ou seja, a diferença entre LSE e LIE, em seis desvios-padrão da variável aleatória Y . Nesse caso, quanto maior for a estimativa de C_p , maior será a capacidade do processo em atender à especificação, ou seja, maior será o número de desvios-padrão que caberá dentro da especificação e, portanto, menor será a variabilidade do processo. Se ele não estiver centrado ($\bar{y} \neq VN$), sua capacidade real será menor do que a indicada pelo C_p . Nesse caso, ele medirá o potencial de capacidade do processo, quando \bar{y} se tornar próxima do VN.

De acordo com a estimativa do C_p , pode-se calcular o percentual da faixa de especificação utilizada pelo processo (FEUP). Quanto menor o percentual, melhor. Assim, tem-se:

$$FEUP(\%) = \frac{100}{\hat{C}_p}.$$

Pelo índice C_p monitora-se somente a variabilidade do processo, dado que ele exige a condição de centralidade de \bar{y} em relação aos dois limites de especificação. Em termos práticos, o valor mínimo exigido para este índice é de 1,33 e, conseqüentemente, o valor máximo exigido para a FE será de 75,19%. Isso implica que para o processo ter $C_p \geq 1,33$, deve-se ter:

$$LIE \leq VN - 1,33 \times 3s_Y;$$

$$LSE \geq VN + 1,33 \times 3s_Y.$$

A exigência de se ter $C_p \geq 1,33$ para considerar o processo como capaz e adequado, impõe que haja pelo menos um desvio-padrão de margem de segurança em relação aos dois limites de especificação, dado: $\bar{y} = VN$. Desse modo, se a faixa de especificação for igual a seis ($LSE - LIE = 6$), então caberão dentro de cada um dos dois lados da média ($LSE - \bar{y}$ e $\bar{y} - LIE$), os números de desvios-padrão (σ_Y) iguais a 3, 4, 5 e 6 para os C_p 's iguais a 1, 1,33, 1,5 e 2, respectivamente.

2.2.2. Índice C_{pk}

O índice de capacidade C_{pk} pode ser utilizado quando o processo estiver ou não centrado no valor-alvo, já que o mesmo leva em consideração \bar{y} , cuja estimativa é definida por:

$$\hat{C}_{pk} = \text{mínimo} \left(\frac{LSE - \bar{y}}{3s_Y}, \frac{\bar{y} - LIE}{3s_Y} \right).$$

O índice C_{pk} é calculado em relação ao limite de especificação mais próximo de \bar{y} e, portanto, não há necessidade de se ter $\bar{y} \cong VN$. Isso implica que o índice C_{pk} representa a menor diferença do limite de especificação em relação à \bar{y} em número de desvios-padrão da variável-resposta Y . Do mesmo modo, quanto maior for a sua estimativa, maior será a

capacidade do processo em atender à especificação, ou seja, maior será o número de $3s_Y$ que o processo se distanciará do limite de especificação mais próximo. Consequentemente, se isso ocorrer para o limite mais próximo de \bar{y} , irá ocorrer, com mais folga, para o limite mais distante de \bar{y} . Quanto mais próxima do VN for \bar{y} , mais próximas serão as estimativas dos índices C_p e C_{pk} . Também, pode-se considerar um processo capaz com $C_{pk} \geq 1,33$. Isso implica que a menor distância do limite de especificação mais próximo (LIE ou LSE) à \bar{y} deverá superar $3,99s_Y$. O índice C_{pk} monitora a centralidade e a variabilidade do processo, dado que ele não exige a condição de centralidade de \bar{y} em relação à especificação.

2.2.3. Número de Sigmas

De acordo com Wilson (2000), quando se fala que um processo tem o nível de qualidade *Seis Sigma*, quer dizer que o valor do sigma, ou seja, do desvio padrão, deve ser tal, que a diferença entre o Limite Superior de Especificação (LSE) e o Limite Inferior de Especificação (LIE) seja igual a 12 vezes o valor deste desvio-padrão (sendo 6 sigmas acima da média e 6 sigmas abaixo). Assim, um processo Seis Sigma deverá ter uma variabilidade do produto final (σ) pequena o suficiente para permitir que a diferença entre os limites superior e inferior de especificação englobem 12σ ($\pm 6\sigma$).

O número de sigmas de um processo pode ser estimado de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{Número de sigmas} = \text{mínimo} \left(\frac{\text{LSE} - \bar{y}}{s_Y}, \frac{\bar{y} - \text{LIE}}{s_Y} \right).$$

3. Objetivos

3.1. Geral

- Avaliar a estabilidade e a capacidade do processo de envase de requeijão de um fábrica de laticínios de médio porte.

3.2. Específicos

- Verificar a frequência de produtos fora da especificação.
- Verificar o maior número de sigmas que o processo pode operar.
- Verificar o efeito do tamanho do lote sobre a quantidade produzida de itens defeituosos.
- Verificar a viabilidade de implantação de um processo *Seis Sigma* em função da quantidade produzida.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Processo *Seis Sigma* (6σ)

Foram construídos diagramas de dispersão do número de itens defeituosos *versus* número de itens produzidos para os processos 3, 4, 5 e 6σ , separadamente. Foi ajustada a equação de regressão para estudar a relação entre ambas as variáveis. Essa análise teve por

objetivo tentar estimar o maior número de itens produzidos (máximo tamanho de lote) para os diferentes processos que pudessem ainda tornar viável a qualidade dos mesmos.

4.2. Envase de requeijão

A empresa estudada foi uma indústria de laticínios, localizado na Zona da Mata mineira. A empresa processa diariamente um total de 300.000 l de leite, quantidade tal dividida entre as fábricas de queijo, soro em pó e leite UHT. Atualmente os laticínios trabalha com 3 turnos de produção (manhã/tarde/noite), contando com aproximadamente 300 funcionários diretos. É o maior produtor de soro em pó do Brasil e o maior produtor de queijo de Minas Gerais. Foi fundado em 1991, começando inicialmente como uma empresa familiar e ampliando sua capacidade de acordo com a crescente aceitabilidade de seus produtos no mercado.

Foi estudado o processo de envase de requeijão cremoso, embalado em potes de 420 g do alimento. O peso da embalagem foi considerado constante e igual a 18 g. Simplificadamente, o leite que chega aos laticínios por meio dos caminhões é pasteurizado e homogeneizado. É então realizada a moagem, que possibilita o contato íntimo do sal fundente com a mistura da massa. Posteriormente tal massa é submetida à fusão e cozimento com a adição dos demais ingredientes para a fabricação do requeijão cremoso. Quando ainda quente, o requeijão é fluido e nestas condições é então envasado. Foram retiradas amostras de tamanho médio de 37 unidades, durante 23 dias de produção.

Os laticínios estabelecem metas de controle do seu processo, a serem medidas ao longo do processo de amostragem das embalagens de requeijão cremoso, são os limites de especificação inferior (LIE) e superior (LSE). Tais são definidos da seguinte forma:

$$LIE_{\text{interno}} = 442 \text{ g; e}$$

$$LSE_{\text{interno}} = 448 \text{ g.}$$

Para embalagens de 300 a 500 g, é estabelecido através da Portaria INMETRO n° 74, de 25 de maio de 1995 que a embalagem pode ter variação de 1,5% do total declarado no rótulo. Dessa forma, a embalagem de 420 g de requeijão, pode ter uma variação de até 6,3 g para menos. Para fins de cálculo dos índices de capacidade, foi estabelecido um limite de especificação superior externo simétrico ao inferior. Abaixo, os valores de tais limites foram:

$$LIE_{\text{externo}} = 431,7 \text{ g; e}$$

$$LSE_{\text{externo}} = 444,3 \text{ g.}$$

De acordo com todos os dados coletados durante os 23 dias e utilizados os limites de especificação externo e para os limites de especificação internos, foram avaliados os índices Cp, Cpk e o número de sigmas do processo.

4.2.1. Estabilidade

Para estudar a estabilidade do processo de envase de requeijão cremoso foi construído um histograma para cada dia de avaliação durante 23 dias. Em cada dia foram coletados pesos de, em média, 37 unidades. Foi feito o cálculo da média e do desvio padrão das unidades de requeijão cremoso coletado ao longo do dia e, posteriormente, foi calculado o seu valor geral, para todos os dias de coleta. Foram plotados gráficos dos valores da média e do desvio padrão da amostra para cada dia e gráficos de dispersão do peso das unidades ao longo do dia.

Através do teste qui-quadrado, que relaciona as frequências observadas com as esperadas, foi verificado como o processo se comporta ao longo dos 23 dias, se o mesmo se mantém significativamente constante, podendo assim ser considerado estável.

4.2.2. Capacidade

Foram calculadas as capacidades tanto relacionadas às especificações internas quanto as especificações de legislação. Foram estimados os índices Cp e Cpk para cada dia de avaliação e para o processo como um todo. Foi calculado o número de sigmas do processo.

5. Resultados e Discussão

5.1. Tamanho do lote

De acordo com a frequência de itens defeituosos (medida em partes por milhão, ppm, por exemplo), pode-se concluir a respeito da qualidade do produto, processo em análise. Quanto maior o nível sigma do processo, menor será o número de defeitos em relação ao total de itens produzidos. Analogamente, quanto maior a quantidade produzida (n), maior será a necessidade de se ter um processo com nível sigma próximo ou igual a seis sigma. Isso acontece pois com altos valores de n associados à suas probabilidades de defeito resultam em um alto impacto negativo frente ao mercado consumidor.

Após a construção do gráfico foram estabelecidas as equações que relacionam as frequências de itens defeituosos (Y) e o número de itens produzidos (n). De acordo com as equações, podem ser feitas previsões das frequências de itens defeituosos em função do número de itens produzidos, de acordo com o nível sigma. As diferentes inclinações das retas são aqui identificadas pelos diferentes coeficientes que multiplica a quantidade de itens produzidos, como seguem:

$$\hat{y} = 4 \times 10^{-11} + 0,0668n, \text{ para processo } 3\sigma;$$

$$\hat{y} = 4 \times 10^{-12} + 0,0662n, \text{ para processo } 4\sigma;$$

$$\hat{y} = -4 \times 10^{-14} + 0,0002n, \text{ para processo } 5\sigma; \text{ e}$$

$$\hat{y} = -6 \times 10^{-16} + 3 \times 10^{-6}n, \text{ para processo } 6\sigma.$$

5.2. Indústria de Laticínios

Para os 23 dias de avaliação os pesos das unidades de requeijão cremoso foram conforme os resultados apresentados nos histogramas (Anexo I). O processo de envase do requeijão não pode ser considerado constante, visto que o formato dos histogramas (posição e variação) variou consideravelmente. A média dos pesos das unidades de requeijão cremoso oscilou aleatoriamente ao redor de 445,09 g e o desvio-padrão variou em torno de 1,53 g. Percebeu-se que as médias dos pesos das embalagens e seus desvios-padrão oscilaram significativamente, não podendo ser considerados constantes. O menor e maior valor do peso coletado foi, respectivamente, iguais a 440 e 450 g (Figuras 1 e 2).

As frequências relativas esperadas para as duas classes extremas é inferior a 1%, para cada uma das duas classes próximas às centrais é de 15 a 17% e para as suas duas classes centrais é em torno de 32 a 35%.

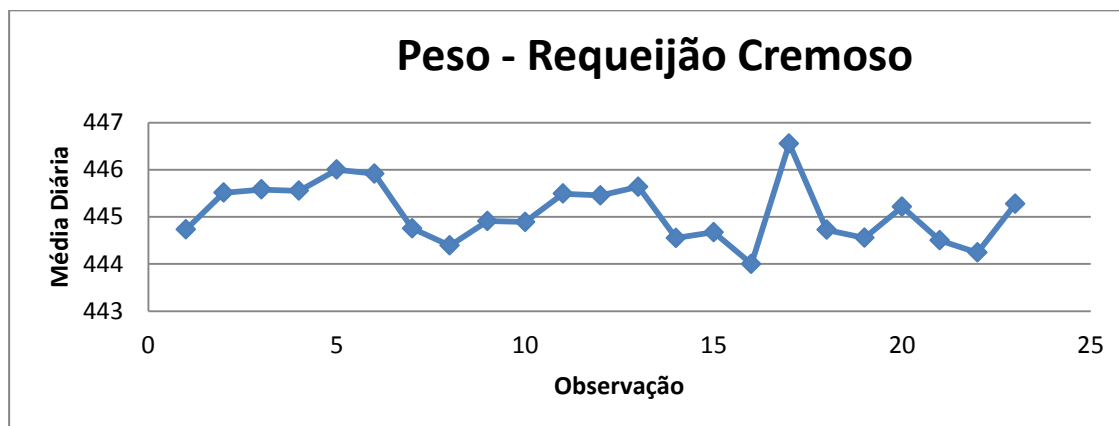


Figura 1 - Médias dos pesos das embalagens obtidas nos 23 dias de avaliação.

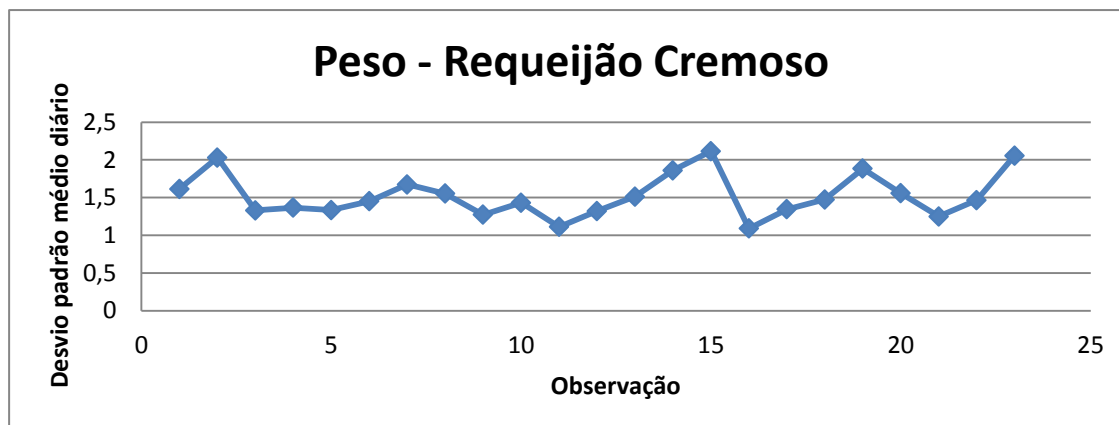


Figura 1 – Desvios-padrão dos pesos das embalagens obtidas nos 23 dias de avaliação.

Na realidade, foram coletadas amostras que possuem classes extremas com frequência observada acima de 1%, classes centrais com frequências maiores que outras mais extremas e algumas com falta de simetria na distribuição. Dessa forma, de acordo com o teste qui-quadrado ($\alpha = 5\%$), concluiu-se que o processo não é estável e que as frequências não se mantêm de acordo com o esperado.

Essas informações mostram a não estabilidade do processo de envase, que apresenta baixo grau de padronização. Apesar disso, a capacidade do processo foi estimada, de acordo com os limites de especificação interno e externo (Tabela 1). O processo de envase não é capaz por possuir C_p e C_{pk} menor que 1,33 para ambas as especificações. Seu número Sigma é inferior a 6 e conseqüentemente não tem sem um processo de qualidade *Seis Sigma*. No Anexo II, encontram-se os gráficos de dispersão do peso das embalagens ao longo do dia de coleta.

Tabela 1 - Estimativas dos índices C_p e C_{pk}

	C_p	C_{pk}	Número de Sigmas
Especificações internas	0,52	0,48	1,43
Especificações externas	–	–0,08	–

6. Conclusões

A aplicação de ferramentas estatísticas básicas, como histogramas, gráficos de dispersão, gráficos de medidas individuais, dentro do ambiente industrial pode fornecer informações importantes aos gestores. Dessa forma o uso de tais é incentivado.

Acerca do estudo de caso, percebe-se que a utilização dos limites de especificação para controle do processo não é indicada, visto que acarreta em uma margem de segurança para o processo muito restrita. O processo de envase de requeijão não se comportou de forma estável e nem apresentou qualidade *Seis Sigma*. Assim, para uma mesma qualidade em número de Sigma o aumento do tamanho do lote está relacionado ao aumento de produção de itens defeituosos.

Ressalta-se que a viabilidade de implantação de um processo *Seis Sigma* depende diretamente da quantidade produzida, assim, se tornando mais aplicável a altas produções.

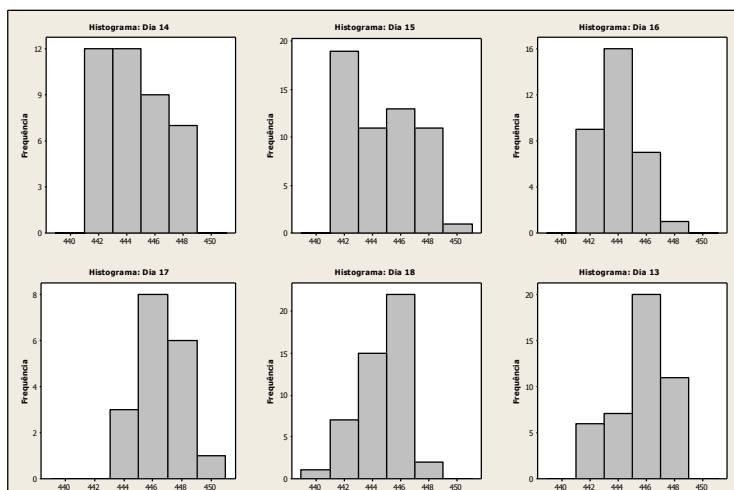
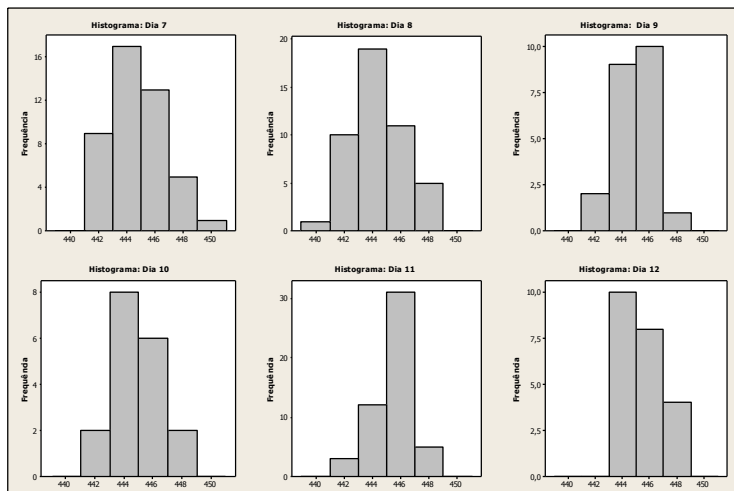
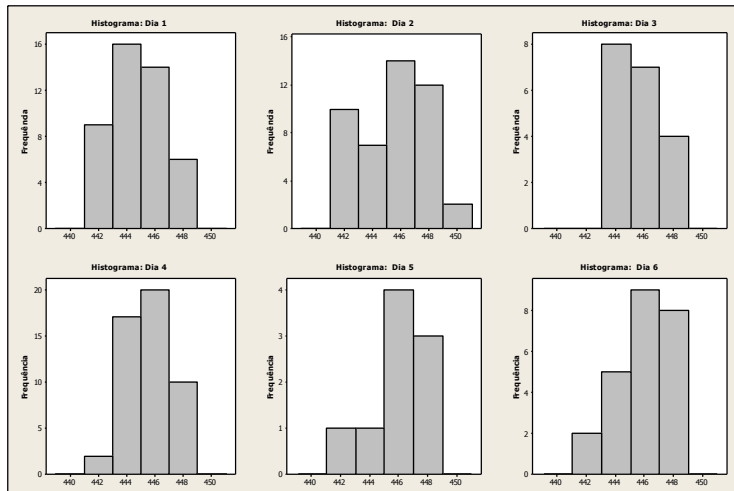
O incremento da qualidade de um produto, através de padronização acarreta em diminuição de custos de retrabalho, falhas internas e externas além de gerar uma maior satisfação aos clientes, dando-lhes segurança e passando confiança.

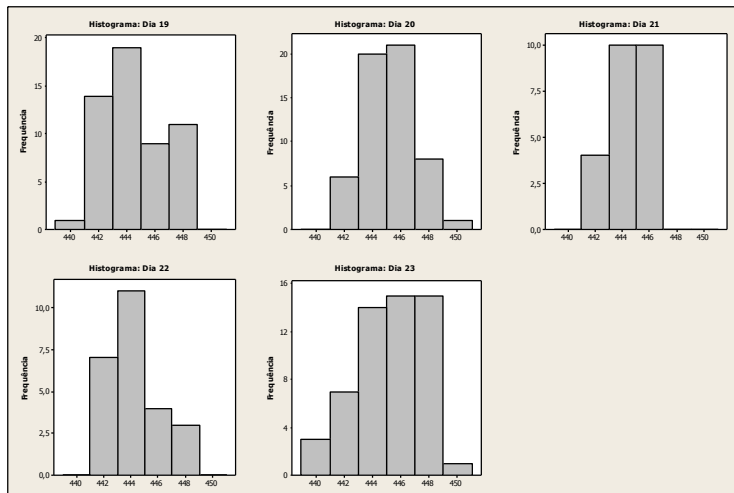
7. Referências Bibliográficas

- ALEM, Carlos Augusto Saadi. O impacto do Nível-Sigma nos Custos da Qualidade: um estudo de caso no setor de manufatura. Dissertação. Departamento de Engenharia de Produção UNIFEI. Itajubá, 2004.
- CARVALHO, M. M.; Paladini, E. P. Gestão da qualidade: teoria e casos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- COSTA, A. F. B.; EPPRECHT E. K.; CARPINETTI, L. C. R. *Controle estatístico de qualidade*. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2005.
- INMETRO – Portaria nº 74. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, maio/1995.
- LUSTOSA, L; Mesquita, M A; Quelhas, O; Oliveira, R. *Planejamento e Controle da Produção*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.
- MIGUEL, P. A. C. (organizador). *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- MONTGOMERY, D.C. *Introdução ao controle estatístico da qualidade*. 4 ed. Tradução Ana Maria Lima de Farias e Vera Regina Lima de Farias e Flores. LTC. Rio de Janeiro, 2004.
- MOREIRA, Daniel A., *Administração da produção e operações*. 8.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2009.
- MUCIDAS, Juliana Hastenreiter. *Aplicação do controle estatístico do processo no envase de leite uht em uma indústria de laticínios*. Monografia. Departamento de Engenharia de Produção UFJF. Juiz de Fora, 2010.
- RIBEIRO JÚNIOR, José Ivo. Métodos Estatísticos Aplicados ao Controle da Qualidade. Viçosa, MG. Editora UFV, 2013.
- ROTONDARO, Roberto Gilioli. *Seis Sigma: Estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços*. São Paulo: Atlas, 2002.
- ROTONDARO, Roberto Gilioli; MEKHITARIAN, Narê. Seis Sigma em pequenas e médias empresas. In: SIMPEP (Simpósio de Engenharia de Produção), 2006. Bauru (SP).
- SLACK N., Chambers S., Harland C., Harisson A. & Johhston R; *Administração da Produção* (Edição Ampliada). 2.ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

WERKEMA, M. C. C. *Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos*. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, v. 2, 1995.

8. ANEXO I – Histograma diário do peso das embalagens





9. ANEXO II – Distribuição ao longo do dia da média do peso das embalagens

