

GESTÃO DA PRODUÇÃO EM FOCO

LEAN SEIS SIGMA

REDUZINDO A
VARIABILIDADE DOS
PROCESSOS

Organizador
Frederico C. Barbosa



Editora Conhecimento Livre

Frederico Celestino Barbosa
(organizador)

Gestão da produção em foco: lean seis sigma

1ª ed.

Uberlândia
Editora Conhecimento Livre
2019

1ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

<p>Barbosa, Frederico Celestino</p> <p>B238a Gestão da produção em foco: lean seis sigma. / Frederico Celestino Barbosa. -- Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 2019.</p> <p>117 f.: il.</p> <p>DOI: 10.29327/5.2789</p> <p>ISBN: 978-65-80226-15-3</p> <p>Modo de acesso: World Wide Web</p> <p>Inclui bibliografia</p> <p>1. Seis Sigma L. 2. Qualidade. 3. Produtividade L. 4. Engenharia de produção 5. Gestão Industrial. 6. Gestão de serviços I. Barbosa, Frederico Celestino. I. Título.</p> <p>CDU: 620</p>
--

O conteúdo dos artigos são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

Apresentação

A terminologia Lean Six Sigma surgiu da união de dois poderosos métodos para melhoria do desempenho das organizações: o Lean Manufacturing e o Seis Sigma. A metodologia Lean Manufacturing surgiu no Japão após a Segunda Guerra Mundial, já a metodologia Six Sigma foi criada na Motorola em 1986, a partir da união de diversas técnicas estatísticas surgidas naquele século.

O Lean Manufacturing consiste em implantar um sistema de produção Just-in-Time, reduzindo os sete tipos de desperdícios existentes em um sistema produtivo. Já o Seis Sigma trabalha em prol da confiabilidade do processo. Portanto, enquanto o Seis Sigma atua na redução da variabilidade, o Lean foca no deslocamento da média para uma situação mais favorável.

Essa metodologia conjunta, ajudou empresas nas últimas décadas a economizarem bilhões de reais, tornando-se disciplina obrigatória para todo profissional ou organização que queira destacar-se no mercado.

No Brasil, centenas de pesquisas vem sendo desenvolvidas com o propósito de alavancar a competitividade das organizações brasileiras frente ao mercado internacional. Levar esses trabalhos ao conhecimento de nossos profissionais e empresariado, torna-se uma obrigação imperiosa de nossa comunidade acadêmica, sendo que esse livro é mais um esforço dirigido nesse sentido.

Nesse ínterim, esse livro reúne importantes obras de estudo e aplicação da Metodologia Lean Six Sigma em diversos contextos diferentes, sendo que cada capítulo é de autoria de diferentes autores.

Esperamos que através de trabalhos como esse, a prática correta dessa metodologia possa disseminar-se ainda mais no nosso país, possibilitando maior competitividade e diminuição da pobreza, ocasionados pelo potencial crescimento econômico e geração de vagas no mercado de trabalho.

Frederico C. Barbosa

SUMÁRIO

CAPÍTULO I:	
Metodologia Six Sigma Aplicada à Indústria de Produtos Hidráulicos nos Estados Unidos.....	05
CAPÍTULO II:	
Redução da Variabilidade e do Consumo de Verniz Interno em uma Indústria de Embalagens Metálicas.....	16
CAPÍTULO III:	
Implantação da Metodologia DMAIC em uma Indústria de Corte e Dobra de Aço Para a Construção Civil: um Estudo de Caso.....	84
CAPÍTULO IV:	
Controle Estatístico de Processo: Estudo de Caso em uma Indústria de Alimentos.....	104

CAPÍTULO I

Metodologia Six Sigma Aplicada à Indústria de Produtos Hidráulicos nos Estados Unidos

Murilo Riyuzo Vendrame Takao

Iris Bento da Silva

Jason Woldt

RESUMO: A intensa competitividade no mundo dos negócios e a busca por atender as exigências do consumidos são uma tendência mundial, o que resulta na procura das empresas por um alto nível de excelência. Otimização de processos, redução de custos e aumento da qualidade do produto são as metas que atualmente as empresas visam cumprir com o objetivo de manter seu aprimoramento contínuo. A integração de ferramentas de qualidade, como a metodologia Six Sigma, são de fundamental importância nesse processo. O artigo descreve a aplicação da metodologia Six Sigma em uma empresa norte americana de produtos hidráulicos, abordando detalhadamente cada fase do processo e os satisfatórios resultados finais, financeiro e culturais.

Palavras-chave: Manejo. Adubação. Nutrição. Hortaliças.

Introdução

Com o advento da globalização, muitas mudanças ocorreram no cenário econômico mundial, entre elas está a crescente competitividade entre as empresas em relação mercado. Tal tendência tem se intensificado nas últimas décadas, o que resultou na procura dessas organizações pelo aperfeiçoamento dos parâmetros de produtividade e qualidade, buscando assim a melhora de processos e redução custos.

Neste contexto ocorre a difusão de metodologias, ferramentas de qualidade, como o Six Sigma desenvolvido pela Motorola em 1980, que mostram-se capazes de cumprir com as metas desejadas, alavancando o nível de excelência e lucratividade de tais empresas. Segundo Harry (1998, p. 60): “Seis Sigma é um processo de negócio que permite às organizações incrementar seus lucros por meio da otimização das operações, melhoria da qualidade. Seis Sigma está relacionado à melhoria da lucratividade. Organizações que implementam Seis Sigma, fazem isso com a meta de melhorar seus lucros.”

Ademais, para Montgomery (2010, p. 58) o Six Sigma é uma poderosa estratégia de negócio usada para reduzir a variabilidade do processo através da efetiva utilização de ferramentas e técnicas estatísticas. É um rigoroso e disciplinado programa que usa dados e análises estatísticas para medir e melhorar o desempenho operacional da companhia através da eliminação de defeitos, erros ou falhas na manufatura, serviços ou processos transacionais.

Tal programa de melhoria contínua, tornou-se uma real necessidade na maioria das grandes empresas vistas como modelo. A qualidade é vista cada vez mais como um importante indicador de sucesso para as organizações, não apenas pela pela considerável redução de custos de produção, mas também pela satisfação do cliente com o produto ou serviço fornecido. Uma das características diferenciais da metodologia Six Sigma, comparada a outros sistemas de melhoria da qualidade, é que as ações executadas são embasadas em dados e eventos, propriamente medidos. As decisões intuitivas, ou relacionadas a informações sem fundamentação, não são adequadas para aumentarem a eficácia e eficiência das empresas.

O Six Sigma se mostra fundamental em uma organização, pois tem como foco a correção de causas em vez de efeitos, aperfeiçoamento de processos em vez de produtos ou atividades isoladas além de atuar na origem dos problemas em vez de seus sintomas. Fato que torna melhorias alcançadas mais duradouras. O programa representa também uma considerável mudança de cultura nas organizações. Hierarquias internas são consolidadas e a eficiência todas as etapas dos processos é atingida, por meio de treinamento da alta administração.

Neste artigo foi abordado um estudo de caso da aplicação da metodologia Six Sigma em um empresa norte americana de produtos hidráulicos no estado de Wisconsin. Cada etapa do processo é propriamente descrita, assim como também são apresentados os resultados obtidos. Ao fim se é possível identificar as melhorias e benefícios alcançados



pela implementação do programa de qualidade.

Six Sigma

A metodologia Six Sigma representa o programa de gestão da qualidade mais recente, tendo surgido na empresa norte-americana Motorola em 1987, com o objetivo de melhorar o desempenho da empresa através de estudos focados na variabilidade dos processos de produção (HENDERSON; EVANS, 2000). Trata-se de uma estratégia gerencial disciplinada, caracterizada por uma abordagem sistêmica e pela utilização intensiva do pensamento estatístico, que tem como objetivo reduzir drasticamente a variabilidade dos processos críticos e aumentar a lucratividade das empresas, por meio da otimização de produtos e processos, buscando satisfação de clientes e consumidores. (CARVALHO e PALADINI, 2005).

Embora a Motorola seja a precursora do Seis Sigma, a metodologia ganhou popularidade em 1994, quando o presidente da GE (General Electric) considerou-a o caminho para a busca da qualidade superior e da rentabilidade (WELCH, 2001). A metodologia está embasada em diversas características de modelos anteriores, como o pensamento estatístico, típico da época de maior ênfase no controle da qualidade, e a análise e solução de problemas (BOARIN, 2009). Contudo de acordo com Bisgaard e De Mast (2006) o Six Sigma foi um grande salto quando comparada às abordagens de gestão da qualidade anteriormente utilizadas, tendo como maior novidade no conceito

Six Sigma foi o foco em resultado, especialmente monetário e estratégico. Segundo Bañuelas e Antony (2002), seu diferencial reside na forma de aplicação estruturada dessas ferramentas e procedimentos e na sua integração com as metas e os objetivos da organização como um todo, fazendo com que a participação e o comprometimento de todos os níveis e funções da organização se torne um fator-chave para o êxito de sua implantação.

Abaixo encontra-se uma tabela com o significado da Escala Sigma. Tem-se calculado o índice DPMO (Defeitos por Milhão de Oportunidades), que representa a razão entre o número de peças reprovadas e o número de peças produzidas, multiplicada por um milhão. A partir de tal índice, atribui-se a empresa um nível de qualidade na Escala Sigma.

TABELA 1 – Significado da Escala Sigma

Taxa de Acerto	Taxa de Erro	DPMO	Escala Sigma
30,9%	69,1%	691.462	1,0
69,1%	30,9%	308.538	2,0
93,3%	6,7%	66.807	3,0
99,38%	0,62%	6.210	4,0
99,977%	0,023%	233	5,0
99,99966%	0,00034%	3,4	6,0

De acordo com Einset e Marzano (2002) a média das indústrias opera em um nível de qualidade 3 Sigma, que resulta em gastos entre 15% e 20% de



seu faturamento em desperdícios com retrabalho, inspeções, testes e outras perdas. Tal nível de qualidade tem um padrão muito inferiores ao Seis Sigma, o qual apresenta taxa de erro de 0,00034% (3,4 ppm). Para Watson (2001) alcançar o Seis Sigma significa reduzir defeitos, erros e falhas a zero e atingir a quase perfeição no desempenho dos processos.

Werkema (2004) descreve que entre os principais elementos da infra-estrutura do Six Sigma está a constituição de equipes para executar projetos que contribuam fortemente para o alcance das metas estratégicas da empresa. O desenvolvimento desses projetos é realizado com base em um método denominado DMAIC:

Define: Definir com precisão o escopo do projeto, validar a importância do projeto, constituir a equipe responsável pelo projeto e identificar as principais necessidades dos clientes/consumidores;

Measure: Determinar a localização ou foco do problema, coletar dados, verificar confiabilidade de tais dados, identificar problemas prioritários, estabelecer a meta de cada problema prioritário;

Analyze: Determinar as causas de cada problema prioritário, analisar o processo gerador do problema prioritário, identificar e priorizar as causas potenciais do problema prioritário, quantificar a importância das causas potenciais prioritárias;

Improve: Propor, avaliar e implementar soluções para cada problema prioritário, identificar soluções prioritárias, testar em pequena escala as soluções prioritárias, elaborar e executar um

plano para implementar as soluções prioritárias em larga escala;

Control: Garantir que o alcance da meta seja mantido a longo prazo, avaliar o alcance da meta em larga escala, implementar um plano para o monitoramento da performance e tomada de ações corretivas em caso de surgimento de anomalias, sumarizar o trabalho e fazer recomendações;

Observa-se nos setores de uma empresa em que são conduzidos programas Six Sigma uma determinada estrutura hierárquica. Pande (2003) e Andrietta e Miguel (2007) listam os componentes de tal hierarquia e descrevem suas atribuições:

Sponsors: estão no topo da equipe e têm a responsabilidade de promover e definir as diretrizes para a implantação do Seis Sigma;

Champions: membros da comissão executiva, os quais facilitam a obtenção de recursos e a eliminação de barreiras no desenvolvimento de projetos de melhoria;

Master Black Belts: fazem a ligação entre a gestão geral do projeto Seis Sigma e as pessoas responsáveis por cada um dos projetos de melhoria;

Black Belts: lideram projetos específicos. Trabalham com funções ligadas à identificação de novos projetos e no treinamento de GBs. Têm formação em métodos estatísticos, processo de melhoria da qualidade, entre outros;

Green Belts: dedicam-se às melhorias, com tempo parcial dentro do projeto;

Yellow Belts e White belts: compõem o chamado “chão-de-fábrica”, porém são treinados para utilizar as ferramentas básicas do Seis Sigma que se aplicam às várias fases dos projetos;



Estudo de Caso

A pesquisa baseou-se no estudo de caso desenvolvido em uma empresa de produtos hidráulicos nos Estados Unidos, na cidade de Kohler, no estado de Wisconsin. Mais especificamente o projeto ocorreu no setor de torneiras. Foi analisada a atual conjuntura da companhia, no sentido de intensificar os seus indicadores de qualidade e produtividade, assim foi então aplicada a metodologia Six Sigma. O programa de melhoria contínua deu-se a partir da constituição de equipes para execução do projeto, e o desenvolvimento de tal teve como base o método DMAIC (define, measure, analyze, improve e control).

Define

O principal intuito da fase Define foi apurar os objetivos e obter entendimento do valor do projeto Six Sigma. Procurou-se também compreender qual era o problema, a meta pretendida, o impacto econômico resultante, o processo relacionado ao problema, além dos clientes afetados pelo mesmo.

Para tal finalidade a ferramenta chamada Voice of the Customer (Voz do Cliente) foi extremamente útil. O método descreve as expectativas, necessidades e percepções dos clientes quanto aos produtos e serviços da companhia. A ferramenta foi empregada no projeto através de um estudo de Benchmarking para confrontar o desempenho da empresa em relação ao

desempenho das organizações concorrentes. O benchmarking é um importante instrumento de gestão que permite o aperfeiçoamento de processos e funções em uma empresa, a partir da comparação produtos, serviços e práticas empresariais.

Observou-se então que a empresa não correspondia às expectativas dos clientes, e do mercado quanto ao Order Fulfillment Cycle Time (tempo estimado desde a entrada do pedido até a entrega do produto). Deste modo, o projeto pautou-se na necessidade de otimização nesta direção, focando em uma possível redução de custos a partir dessa lógica.

Measure

A fase Measure focou na obtenção de dados que procuraram mensurar e descrever o problema, portanto fez uso principalmente de ferramentas de coleta de dados. Foram determinados também planos para tais coletas, ou seja, como a ação será realizada, quando será executada, o tamanho das amostras, além da definição operacional dos indicadores.

Deste modo, foi constatado que as torneiras americanas comerciais entregues aos clientes em 2011 levaram 46% a mais de tempo (20,5 dias contra 14 dias) do que as expectativas do mercado, conforme definido pelo tempo de espera desejado pelo cliente. Os documentos analisados para tal comprovação datam de janeiro de 2011 até dezembro de 2011.

Duas medidas foram adotadas no processo. Sendo a de Order Fulfillment



Cycle Time (tempo estimado desde a entrada do pedido até a entrega do produto) a principal, e Inventário em Doláres a secundária. Esta última foi empregada pela razão de que se é consideravelmente fácil aumentar os

níveis de serviço aumentando o inventário, o que pode resultar em perdas líquidas para o negócio, portanto a intenção foi de manter níveis constantes de inventário e implementar medidas para a melhoria dos serviços.

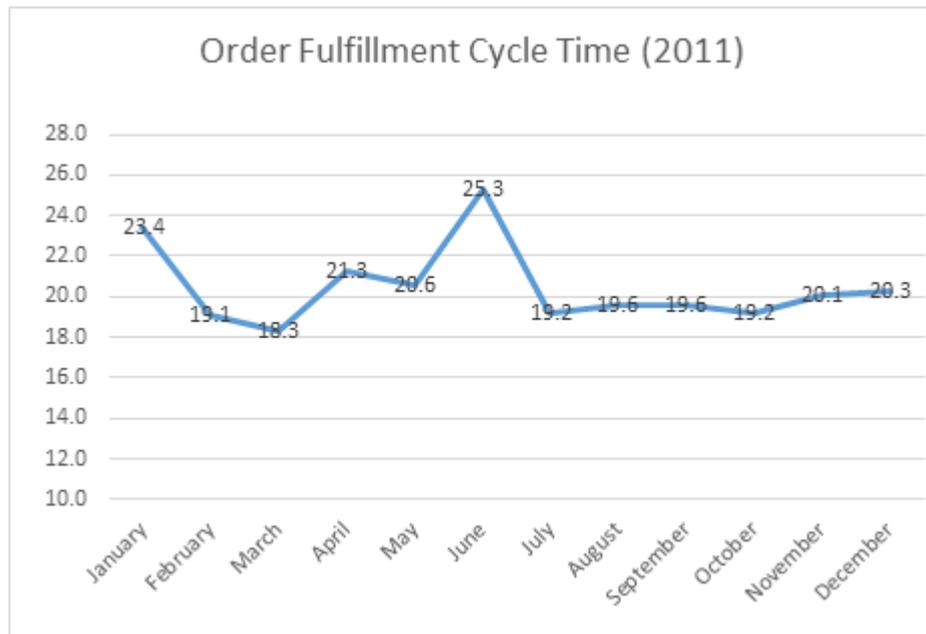


FIGURA 1- Order Fulfillment Cycle Time no ano de 2011.



FIGURA 2 – Inventário em Dólares no ano de 2011.



Analyze

A fase Analyze objetivou a definição das principais causas do problema previamente identificado, assim como quantificar a relevância das mesmas, dando prioridade às de maior importância. Deste modo, realizou-se uma sessão de Brainstorming, a fim de enumerar as possíveis causas (Quais são os fatores que tem a maior influência no Order Fulfillment Cycle Time em termos de dias?). Os principais elementos destacados foram: Precisão do Plano de Vendas, Variação Entre Produção Real e a Estipulada, Controle

do Estoque de Segurança e Desempenho do Fornecedor na Entrega.

A partir desses fatores selecionados, foi calculado através uma regressão linear múltipla quais dessas variáveis independentes causariam mais impacto na variável dependente (Order Fulfillment Cycle Time). E observou-se que as variáveis de maior destaque foram respectivamente Controle do Estoque de Segurança ($R^2 = 0.54$) e Precisão do Plano de Vendas ($R^2 = 0.47$). Portanto essas seriam as principais causas raízes a se considerar no projeto.

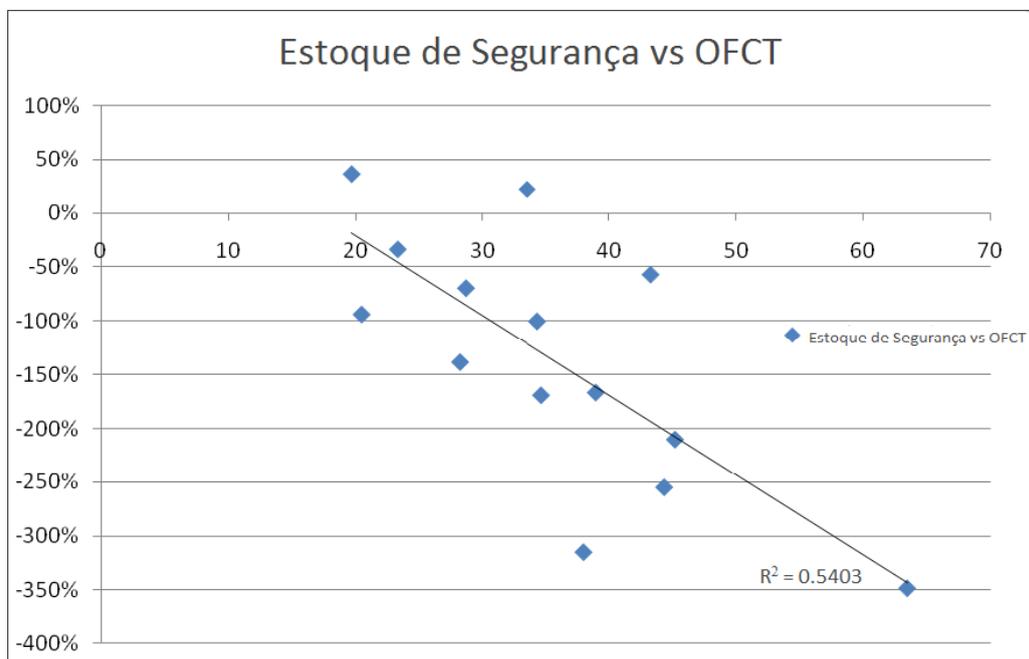


FIGURA 3 – Análise da influência do Estoque de Segurança no OFCT.

Seguindo na fase Analyze, realizou-se um histograma a fim de compreender se havia um grupo de Unidades de Manutenção de Estoque na qual podiam ser concentrados mais esforços, e o que

se percebeu que dentre as 274 unidades, 52 delas se destacavam por somarem juntas 72% da demanda anual da empresa.



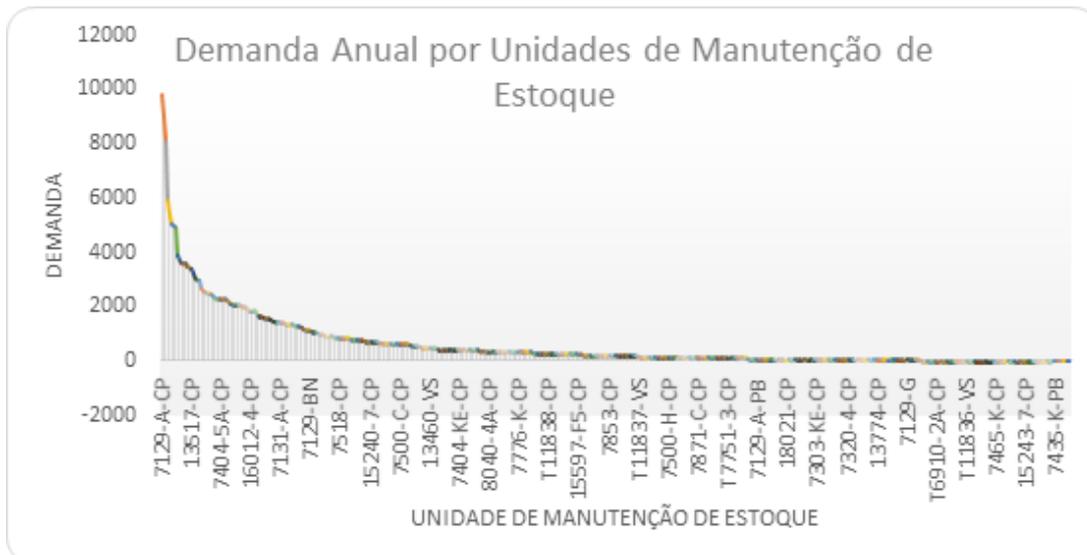


FIGURA 4 – Análise da Unidades de Manutenção de Estoque com maior demanda.

Improve

A fase Improve teve como meta a implementação de soluções, bem como analisar quais dessas soluções são as prioritárias. O projeto propôs a atuação em dois fatores, os quais foram considerados mais relevantes na fase anterior: Controle do Estoque de Segurança e Precisão do Plano de Vendas.

Para a primeira causa a solução empregada foi uma revisão mensal da demanda das 52 principais Unidades de Manutenção de Estoque, as quais somam juntas 72% das vendas. Já a segunda medida implementada foi

codificar (Código SPA) as 52 principais Unidades de Manutenção de Estoque, com o intuito facilitar o processamento de forecasts, o que permitiria uma melhor definição de estoques de segurança e cíclicos, prevendo e prevenindo-se de oscilações na demanda. O Código SPA é um código de autorização especial dentro sistema de Planejamento de Recurso Corporativo (sistema integrado de gestão empresarial, sistema de informação o qual integra todos processos e dados de uma empresa em um único sistema).

Control

A última fase do método DMAIC visou garantir que os progressos alcançados durante o projeto fossem mantidos a longo prazo, introduzindo um plano de monitoramento e ações a fim de retificar possíveis complicações que possam

aparecer. Dentre essas medidas corretivas, o caso implementou duas mais importantes. A primeira é uma condução pelos próximos 3 meses da demanda mensal das 52 principais unidades de manutenção mensal. Já a segunda medida trata-se de uma revisão anual do Código SPA, com objetivo de



certificar-se que as Unidades de Manutenção Mensal apropriados sejam ser adicionadas ou removidas.

Resultados e Discussões

O programa de melhoria Six Sigma mostrou-se bastante eficaz na aplicação deste caso. Assim como os resultados financeiros obtidos após a introdução da metodologia, vários progressos e benefícios podem também ser ressaltados. Dentre tais evoluções estão: a eliminação de procedimentos desnecessários nos serviços de vendas/clientes, agilizando o processo de entrega; a melhoria na capacidade de planejamento para futuras demandas; potencial para a migração dos processos para outras linhas de produção; além do crescimento da satisfação indo de encontro com as necessidades do projeto, fornecedores e distribuidores.

Os resultados financeiros conquistados foram bem relevantes também. A empresa atingiu uma economia anual de \$248,034. Tal progresso é explicado pela a solução das principais causas raízes.

Uma das ações adotadas foi a conversão do inventário de componentes em estoque de produtos finalizados para ser capaz de responder mais rapidamente aos pedidos dos clientes. Essa medida resultou em uma redução 2,5 dias de Order Fullfillment Cycle Time, o que correspondeu a uma economia de \$167,591.

Já a segunda ação tratou-se da avaliação da demanda mensal sobre as 52 mais relevantes unidades de manutenção de estoque, a fim de rever um plano de atuação para um panorama

de três meses, visto que o plano de vendas anterior possuía uma grave margem de erro (57%), o que tornava difícil uma resposta rápida de entrega ao cliente quando a demanda oscilava. O efeito resultante foi uma redução de 1,2 dias de Order Order Fullfillment Cycle Time (\$80,443).

Conclusão

O artigo explorou o estudo de caso de um projeto realizado numa empresa norte americana de produtos hidráulicos no estado de Wisconsin, estimulando assim a compreensão de um processo de melhoria com a abordagem Six Sigma. O estudo revela, através do método DMAIC, que a solução do problema se deu de maneira estruturada, evidenciando assim a importância residente na identificação do cenário atual antes da implementação do projeto, análise dos dados e informações, busca por alternativas para a solução do problema, triagem da solução mais relevante, execução das ações de melhoria, validação dos resultados e manutenção dos progressos atingidos pelo programa.

A metodologia Six Sigma é uma ferramenta de qualidade que pelo fato de buscar diminuição de variabilidade no processo, redução de gastos, otimização de processos e satisfação dos clientes, tem se popularizado muito nos últimos anos e se tornado uma excelente alternativa para as empresas em âmbito mundial. Muitas estimativas apontam que, a curto prazo, empresas que não se desenvolverem e alcançarem um nível Six Sigma, elevando seus indicadores de qualidade e



produtividade, não terão capacidade competitiva no mercado nos próximos anos. O artigo corrobora com essa ideia de que a utilização de programas de melhoria dentro das organizações é uma tendência global, ou seja, trabalhar atualmente com tal metodologia remete a trabalhar em classe mundial. Este estudo confirma que mesmo numa empresa norte americana, a implementação metodológica é similar aos casos empregados no Brasil. Ainda reforça a possibilidade de aplicação em presas de médio porte.



Referências

- ANDRIETTA, J. M.; MIGUEL, P. A. **C. A Importância do Método Seis Sigma na Gestão da Qualidade Analisada sob uma Abordagem Teórica. Ciência &Tecnologia**, v.11, n.20, p.91-98, Dez. 2002.
- BAÑUELAS, R.; ANTONY, J. **Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organizations**. The TQM Magazine, v. 14, n. 2, p. 92-99, 2002.
- BISGAARD, S. e DE MAST, J. **After Six Sigma - What's Next?** Quality Progress, January, p.30-36, 2006.
- BOARIN P., S. H.; CARVALHO, M. M.; LEE HOO, L.; RIGAZZ, S. **Programas de Melhoria da Qualidade no Setor Bancário: Uma Análise Comparativa do Cenário Brasileiro e Português**. Produto & Produção, v.10, n.3, p. 77-85, Out. 2009.
- CARVALHO, Marly Monteiro; PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da Qualidade: Teoria e Casos**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 2005.
- EINSET, E.; MARZANO, J. **Six Sigma Demystified. Tooling & Production**, v.13, 2002.
- HARRY, M. J. (1998): **“Six Sigma: A breakthrough strategy for profitability”**. Quality Progress, vol 31 no 5, 60-64.
- HENDERSON, K. M.; EVANS, J. R. **Successful implementation of Six Sigma: benchmarking General Electric company**. Benchmarking: an International Journal, v.7, n.4, p.260-282, 2000.
- MONTGOMERY, D. C.. **A Modern framework for achievement enterprise excellence**. International Journal of Lean Six Sigma, v. 1, n. 1, p. 56-65, 2010.
- PANDE, P. S.; NEUMAN R. P.; ROLAND, C. **The Six Sigma Way: How GE, Motorola, and other Top Companies are Honing their Performance**. India: McGraw–Hill Education, 2003.
- WELCH, J. J. **Definitivo: Segredos do Executivo do Século**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.
- WATSON, G.H. **Cycles of learning: observations of Jack Welch**. ASQ Publication, 1, (1): 45-58, nov./01.
- WERKEMA, C. **Criando a Cultura Seis Sigma**. Werkema Editora, v.1, pp. 75-111, 2004.



CAPÍTULO II

Redução da Variabilidade e do Consumo de Verniz Interno em uma Indústria de Embalagens Metálicas

Pryscylla Rodrigues Silva Cruz

Frederico Celestino Barbosa

RESUMO: O Lean Seis Sigma, que é uma integração das metodologias de gestão de processos desenvolvidas na Toyota e Motorola, é de fundamental importância para redução da variabilidade dos processos e maximização dos resultados. Essa pesquisa teve como finalidade avaliar o comportamento do processo de aplicação de verniz interno em latas de alumínio, quanto a variabilidade e consumo, utilizando-se da filosofia Lean Seis Sigma, operacionalizada pelo método DMAIC. Especificamente, objetivou-se a realização de um levantamento de todos os fatores inerentes ao processo que causam impacto direto na variabilidade, a averiguação estatística de maneira aprofundada do comportamento do processo de aplicação de verniz interno, a identificação da forma pela qual a variabilidade do processo pudesse ser reduzida e a melhor maneira de se reduzir o consumo sem perder a qualidade final do produto. Neste intuito, foram utilizadas diversas ferramentas estatísticas e da qualidade, que possibilitaram o diagnóstico da capacidade do processo e identificação das causas-raízes geradoras de variabilidade. Como resultados obteve-se, uma proposta capaz de reduzir 8,14% no consumo de verniz interno, um dispositivo para ajuste das máquinas que reduziria a variabilidade do processo, e ajustes nas pressões das máquinas de forma que operassem dentro dos limites de controle, o que trouxe estabilidade no processo.

Palavras-chave: Variabilidade, Ferramentas da qualidade, DMAIC, Seis Sigma.



Introdução

A competitividade no mundo industrial faz com que as indústrias busquem a redução de custos desnecessários, isso faz com que a empresa consiga se manter no mercado. No segmento de embalagens metálicas essa realidade não é diferente, porém para a redução de custos é necessário que a qualidade do produto seja mantida. Desta forma é necessário avaliar todas as variáveis que possam prejudicar a qualidade da embalagem e estabelecer medidas que garantam sua estabilidade e acuracidade.

A presente pesquisa foi realizada em uma indústria de embalagens metálicas no setor de aplicação de verniz interno. Esse insumo é aplicado afim de proteger a bebida armazenada na embalagem, evitando que o metal entre em contato com o produto, pois isso acarretaria na alteração do sabor da bebida e, na pior das hipóteses, pode ocorrer um processo de corrosão, perdendo-se tanto a lata quanto a bebida, trazendo prejuízos financeiros e de confiabilidade da marca.

O processo de aplicação de verniz interno possui fatores bastante delicados, e um deles é que a má aplicação pode trazer riscos à saúde do consumidor. Por isso, a aplicação de verniz realizada de maneira uniforme é de alta importância para a indústria alimentícia, mas na prática não é tão simples, por se tratar de

um processo que possui muitas variáveis, e ainda depende da qualidade dos processos anteriores, como o de lavagem da lata por exemplo. No processo de aplicação de verniz interno deste estudo de caso, por questão de segurança alimentar, acaba aplicando-se mais verniz do que o necessário na lata, até que haja redução da variabilidade no processo para aplicação de uma proposta de redução do consumo.

Para que a redução do consumo possa ser realizada, o processo precisa estar estável e com menor variabilidade possível, ou seja, bem controlado. Isso não significa que há problemas de qualidade nas latas, mas sim que há alto consumo de verniz devido ao excesso, o que proporciona a segurança do produto e dos consumidores. Por este motivo a redução deste insumo não pode ser realizada sem que haja estudos e testes prévios sobre o impacto da redução.

Neste íterim, problematiza-se: como reduzir a variabilidade e o consumo no processo de aplicação de verniz interno das embalagens?

Objetivos

O objetivo principal deste estudo é aplicar ferramentas estatísticas e a teoria Lean Seis Sigma de redução da



variabilidade e desperdício na aplicação de verniz interno em embalagens metálicas para bebidas. Mais especificamente, pretende-se:

- Realizar um levantamento de todas os fatores inerentes ao processo que causam impacto direto na variabilidade;
- Averiguar estatisticamente de forma aprofundada o comportamento do processo de aplicação de verniz interno;
- Identificar a forma pela qual a variabilidade de processo pode ser mitigada;
- Identificar a forma pela qual o consumo de verniz pode ser reduzido.

A justificativa deste trabalho baseia-se no fato de que, qualquer decisão tomada em relação a qualquer mudança no processo de aplicação de verniz interno, não pode ser realizada apenas de forma empírica, mas deve ser provada através de testes com as propostas elaboradas, além de que os resultados destes testes foram analisados estatisticamente. Decisões empíricas já foram tomadas e causaram problemas na aplicação de verniz interno, o que ocasionou desperdício de matéria-prima e insumos.

Esse argumento é reforçado por Martins (2017) através do seu estudo sobre retrabalho de lotes de produtos defeituosos, o autor afirma que essa atividade ocasiona parada de produção, o que acarreta queda na eficiência e o aumento de custos, sendo essa uma situação problemática para a empresa, já que isso afeta a competitividade de

forma negativa. Portanto, somente ajustes de máquina com base na experiência não são necessários para melhorias no processo, é necessário provar estatisticamente se houve melhora ou não.

Para evitar problemas de qualidade como o retrabalho de lotes de produtos defeituosos, uma das soluções é a redução da variabilidade de processo, que não possui ganhos financeiros visíveis, mas evita custos com não qualidade, um deles é o retrabalho ou respray, que ocorre quando há problemas de aplicação e o verniz precisa ser reaplicado, em certos casos o respray não é viável, então o produto com defeito deve ser sucateado, o que gera um infortúnio ainda maior pois além do alto custo, perde-se todo produto e o tempo investido.

Um projeto Seis Sigma possui foco na identificação de variações do padrão proposto, ou seja, variabilidade de processo, que em si mesmo não foca inteiramente em exigências do cliente, em vez disso é um exercício de redução de custos dentro do que ensinam Pepper e Spedding, (2010), com isso entende-se que o foco principal em reduzir a variabilidade é a redução de custos, atentando-se em fazer com que o processo fique dentro dos limites de controle interno e especificação do cliente, pois quanto mais variabilidade mais possibilidade de que haja produtos defeituosos.

E por fim, a redução do consumo de verniz resultará na redução dos custos com este insumo, e isso é algo que as





empresas buscam para se manter em um mercado tão competitivo. Taichii Ohno (1997) disse que custos não existem para serem calculados, existem para serem reduzidos. Partindo dessa afirmação, pode-se afirmar que apenas calcular os custos e ter controle sobre eles em uma planilha não é o suficiente, é necessário que haja esforço e estudos para que se achem meios seguros para a redução, sem haja comprometimento na qualidade do produto final.

Restrições

Contudo, houveram restrições para a apresentação deste projeto, a primeira é que o nome da empresa não pode ser divulgado, e a segunda é que os dados deste estudo de caso foram mascarados e deixados de forma adimensional por motivos de sigilo das informações da empresa.



Metodologia

Esta pesquisa foi realizada em uma indústria fabricante de embalagens metálicas para bebidas, no setor que realiza a aplicação de verniz interno das embalagens e teve como objetivo identificar as causas de variabilidade de processo e por meio disso mitiga-las, visando uma possível redução do consumo. Para que a realização da pesquisa fosse possível, a empresa disponibilizou os recursos necessários, tais como equipamentos para medição, históricos de testes e os técnicos de produção.

Foi realizada uma revisão bibliográfica explicando de forma sucinta o processo de fabricação de latas, funcionamento de equipamentos, características físicas e químicas do processo estudado, consequências da má aplicação de verniz interno nas embalagens metálicas, pois viu-se necessário a explicação da relevância da aplicação de verniz interno nas embalagens, visto que poucas pessoas sabem da existência deste processo.

Esse estudo se enquadra na abordagem metodológica estudo de caso, pois segundo Chinazzo (2008) esse tipo de pesquisa trata de situações específicas, onde se estudam situações peculiares que devem ser compreendidas de forma exclusiva. Além disso, os resultados obtidos poderão dar um norte para pesquisadores da mesma área, todavia não se pode generalizar os resultados advindos deste trabalho, pois o mesmo processo pode se comportar de formas diferentes, devido a variações e

peculiaridades que podem existir, por exemplo a diferença entre as máquinas utilizadas para a aplicação de verniz, que em uma fábrica pode ser utilizado um modelo mais moderno e em outra um modelo mais antigo.

Esta pesquisa é qualificada como exploratória, pois de acordo com o autor Chinazzo (2008) busca promover interação, contextualização e atualização de uma representação mental sobre o objeto de estudo, objetivando a compreensão deste.

No que se refere ao tratamento de dados foi utilizada a abordagem quantitativa, pois foram utilizadas ferramentas e análises estatísticas na coleta de dados.

Os dados foram coletados através de testes de distribuição da camada de verniz no interior da embalagem através de um equipamento manual que realiza essa medição através de corrente elétrica, foi necessário que as latas analisadas fossem cortadas, e tivessem sua parte inferior (domo) retirada, para que ficassem planas e fosse possível esquadrihar toda a lata para a medição, cada quadrado desenhado representou um ponto de medição. Atualmente, o setor de qualidade faz o teste de distribuição da película, mas para uma análise mais minuciosa da aplicação de verniz se viu necessário realizar esse teste com mais pontos, com cerca de 100 medições por embalagem.

Outro meio para coleta de dados foi a utilização dos históricos de peso do verniz no interior da embalagem. Para compreender as causas da variabilidade foi feito um diagrama de causa e efeito



ou Ishikawa, que foi elaborado através do acompanhamento do processo, leitura de manuais de máquinas e a experiência das pessoas que trabalham na área.

Para delineamento da pesquisa foi utilizada a metodologia DMAIC, que segue uma sequência lógica para levantamento de informações, resolução de problemas e diminuição da variabilidade do processo, e é muito utilizada em projetos Seis Sigma.

Na fase *Define* foi realizado a definição do tema do projeto e o mapeamento do processo a ser melhorado. Na fase *Measure* foram coletados os dados para a verificação da variabilidade do processo. Na fase *Analyse* os dados coletados foram analisados através do Software Minitab e ferramentas da qualidade como Ishikawa e 5 por quês. Na fase *Improve* as melhorias foram propostas e aplicadas, e na fase *Control* foram implantadas ações que objetivam manter as melhorias aplicadas e/ou propostas.

Os dados coletados foram analisados através de gráficos de superfície,

diagrama de causa e efeito, índices estatísticos de controle de processo, gráficos de controle e médias além de históricos de dados dos testes de aplicação do verniz interno nas embalagens e diários de bordo realizados por turno.

Referencial teórico

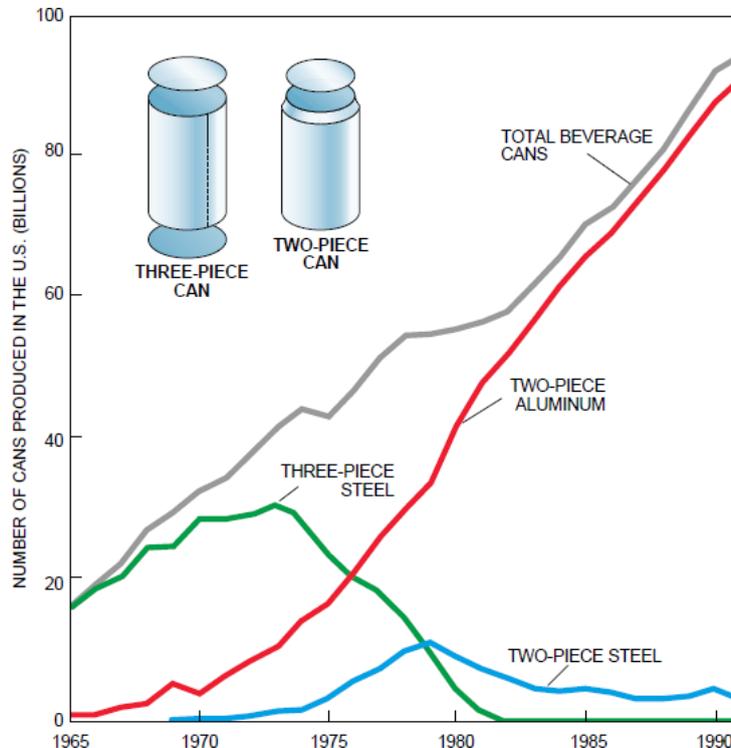
Este capítulo apresentará conceitos sobre a fabricação de embalagens metálicas, ferramentas da qualidade e variabilidade de processo.

Embalagens metálicas para bebidas

A primeira lata de alumínio foi vendida em 1958, por Adolph Coors Company em Golden Colorado, e foi apresentada ao público por Hawaiian Brewery Primo, tendo sido fabricada em duas peças de alumínio (HOSFORD, DUNCAND, 1994). A figura 1 mostra a evolução da produção de latas de duas e três peças ao longo dos anos.



Figura 1: Produção anual de latas de alumínio nos EUA



Fonte: Hosford, Duncan (1994)

Neste gráfico pode-se notar o aumento da produção das latas em bilhões por ano, as latas de duas peças de alumínio dominaram o mercado, as latas de aço representam menos de 1%, as latas de três peças são raramente feitas e tiveram o seu pico de produção em meados dos anos 70 (HOSFORD; DUNCAN, 1994).

Já no Brasil o mercado de latas de alumínio teve início em 14 de outubro de 1989 em Pouso Alegre - MG, quando a

Latasa, que hoje é a Rexam, abriu sua primeira fábrica (BNDES, 1998).

As Latas de aço

O aço tem como principal constituinte o Ferro (Fe), estando em uma das duas categorias das ligas ferrosas. Quanto maior o teor de carbono no aço maior a sua resistência (GROOVER, 2016).

Estima-se que 280 mil toneladas de latas de aço são recicladas no Brasil, do total





de 600 mil toneladas são recicladas por ano, o que representa 46% de todas as embalagens no mercado nacional, o que é um índice baixo se comparado ao alumínio (PROLATA, 2018). Desse total de 46% de latas recicladas, 82% eram latas de aço para bebidas, isso no ano de 2015 (CEMPRE, 2015).

Em contrapartida, a reciclagem de latas de aço não apresenta muitas vantagens devido ao valor da sucata ser baixo ao ponto de não justificar a coleta (SOUSA, PINTO, OLIVEIRA, 2010). O aço é um dos elementos utilizados na fabricação das latas, porém é utilizado em menor escala, se comparado com o Alumínio. Atualmente, cerca de 25% de todo alumínio produzido é destinado para a fabricação de latas para bebidas e alimentos (ASKELAND, WRIGHT, 2014).

As latas de alumínio

O alumínio é o terceiro elemento mais encontrado no planeta Terra, seguido do oxigênio e silício. Porém a produção do alumínio até o fim do século XIX era muito cara e trabalhosa. O alumínio é facilmente processado mecanicamente e em temperaturas mais baixas não mostra transição frágil-dúctil (ASKELAND, WRIGHT, 2014).

Para a classificação das ligas de alumínio existe um sistema que consta códigos numéricos com quatro dígitos. Esse

sistema está dividido nas seguintes partes: peças forjadas e peças fundidas. A diferença entre essas duas partes é o ponto decimal utilizado depois do terceiro dígito, isso para as ligas fundidas (GROOVER, 2016).

As ligas trabalhadas ou forjadas, são aquelas deformadas plasticamente através da conformação mecânica, se comparadas as ligas de fundição são bastante diferentes das ligas forjadas quanto a sua microestrutura e composição, isso mostra que os processos de fabricação exigido de ambas possuem características diferentes. Além disso, esses grupos podem ser divididos ainda em dois subgrupos, que são as ligas tratáveis termicamente e as ligas não tratáveis termicamente (ASKELAND, WRIGHT, 2014).

Além disso, o alumínio não é um elemento tóxico, por isso pode ser reciclado, o que gasta mais ou menos 5% da energia utilizada na produção deste material, por este motivo a reciclagem do alumínio é um processo bastante satisfatório (ASKELAND, WRIGHT, 2014).

A Abralatas (Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio) divulgou que em 2016 o Brasil reciclou 280 mil toneladas de latas de alumínio para bebidas, do total de 286,6 mil toneladas produzidas e que estavam no mercado, isso representa 97,7% de latas





de alumínio recicladas, o que mantém o Brasil na entre a liderança de reciclagem neste segmento desde 2001 (ABRALATAS, 2017). Com relação ao Market Share, o alumínio possui 92% no mercado nacional (SOUSA, PINTO, OLIVEIRA, 2010).

Em âmbito mundial, a lata de alumínio para bebidas é a embalagem mais reciclada, de acordo com relatório realizado pela Resource Recycling Systems (RSS). Foi constatado, através de um estudo requisitado pelas associações de fabricantes de lata nos Estados Unidos (CMI), na Europa (BCME) e no Brasil (ABRALATAS) que globalmente 69% das latas de alumínio comercializadas são recicladas, ficando na frente do PET com 43% e do vidro com 46% (ABRALATAS, 2016).

Comparativo entre latas de aço e alumínio

A lata de alumínio é proveniente da lata de aço. Os primeiros vasilhames deste tipo apareceram em 1935, comercializados pela Kreuger Brewing Companing, em Richmond, Va. Essas embalagens eram muito parecidas com as latas para comida, sua formação era de três peças: um cilindro fechado e mais duas peças. Havia outro tipo de lata de aço, em cima possuía uma geometria cônica que era fechada com tampas de garrafa (HOSFORD, DUNCAN, 1994).

Existem 3 razões referentes a competição entre latas de aço e alumínio: a reciclagem, a relação entre a tecnologia e custo e a comercialização (ANDRADE, VIEIRA, CUNHA, 1998).

O alumínio possui alta condutividade elétrica e térmica e a sua resistência a corrosão é bastante satisfatória, porque em sua superfície forma-se naturalmente um filme de óxido, duro e fino. É um metal bastante dúctil que possui alta conformabilidade. Em sua forma pura, o alumínio não possui muita resistência a pressão e impactos, porém quando é tratado quimicamente chega a competir com alguns aços, principalmente se o peso for um fator relevante (GROOVER, 2016).

Apesar de possuir propriedades de tração menores que a do aço, a sua resistência específica é muito boa (ASKELANS, WRIGHT, 2014).

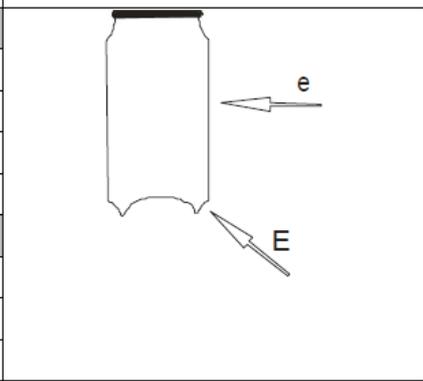
No que a tange à reciclagem, o alumínio apresenta vantagens em relação ao aço, pois este não tem a mesma reciclabilidade devida ao preço do produto (SOUSA, PINTO, OLIVEIRA, 2010).

Nos últimos 20 anos o aço tem predominado nos mercados em que atua, porém teve perdas em alguns segmentos, por exemplo quanto a embalagens para bebidas carbonatadas (SOUSA, PINTO, OLIVEIRA, 2010).



Tabela 1: Espessura das folhas antes da fabricação das embalagens, da parede e peso das latas ao longo dos anos

		ESPESSURA (mm)	
ALUMÍNIO	PESO (g)	E	e
1995	16,66	0,28	0,12
1998	14,30	0,27	0,09
2007	13,50	0,26	0,09
AÇO	PESO (g)	E	e
1990	36,00	0,305	0,12
1995	34,00	0,28	0,10
2007	29,50	0,26	0,09



Fonte: Sousa, Pinto, Oliveira (2010)

Tem-se notado uma melhoria contínua quanto a espessura das bobinas utilizadas na produção, o que acarreta em menor peso da lata (SOUSA, PINTO, OLIVEIRA, 2010), a tabela 1 mostra a evolução desses números.

Processo de Fabricação de Latas de Alumínio

O processo de fabricação das latas de alumínio se inicia nas placas de liga de alumínio, onde são cortadas peças de aproximadamente 5,5 polegadas, depois um punção o transforma em um copo de

3,5 polegadas. No processo seguinte esse copo é redesenhado, as paredes são formadas e ocorre a formação do domo, tudo isso em aproximadamente 0,2 segundos. Nesse ponto a lata já tem as paredes com a dimensão final. Depois que a lata passa pelo Trimmer, onde as rebarbas da parte superior são cortadas, ocorre a limpeza dos resíduos, depois a lata é decorada, passa pelo processo de aplicação de verniz interno, e por último é feita a formação do pescoço para que a tampa seja colocada posteriormente. A parte superior da lata é flangeada para que segure a tampa (HOSFORD; DUNCAN, 1994).

Figura 2: Etapas do processo





Fonte: Hosford, Duncan (1994)

A figura 2 representa visualmente todas as etapas do processo de fabricação de uma lata de alumínio, descritos no parágrafo acima, exceto a parte de aplicação de verniz interno.

Etapas de fabricação

O processo de fabricação de latas de alumínio funciona como o que Goldratt (2014) define como eventos dependentes, que são processos onde o evento subsequente depende do anterior, ou seja, não há como pular os processos, um depende do outro e cada um tem a sua maneira correta para acontecer, caso contrário o produto final será inadequado.

- **Formação do copo:** Para a formação dos copos de alumínio são necessárias chapas deste material, que vão para a fábrica em forma de bobinas. Primeiramente as chapas são colocadas em uma máquina que prensa os copos,

esse processo consiste em cortar vários discos por minuto e transformá-los em copos rasos. O que sobra deste processo, também chamado de esqueleto, vai para a reciclagem para que sejam produzidas novas chapas. O desperdício das chapas circulares pode ser chamado também de scrap. Em teoria, essa perda é de nove por cento, mas na prática, essa perda vai de doze a quatorze por cento (HOSFORD, DUNCAN, 1994; ABRALATAS, 2016).

- **Formação do corpo e apara:** Depois que o copo está formado ele vai para o processo seguinte, onde a máquina (BodyMaker) faz a formação do corpo da lata, que está começando a ficar com o formato final. Nesse processo o copo é subjugado a uma pressão muito alta através de anéis de precisão, com uma leve diferença de diâmetro de maneira crescente. Através disso a espessura da parede é reduzida fazendo com que o copo se torne uma lata, ou seja, vai ficando mais longo, neste processo o fundo da lata é formado também. Após passar pela BodyMaker a lata vai para o





Trimmer, que é responsável por aparar a borda superior dos corpos que já estão estendidos, afim de que todos tenham o comprimento conforme os parâmetros (ABRALATAS, 2016). A etapa de formação do corpo é realizada através das batidas constantes do punção, em cerca de 0,2 segundos. O copo é redesenhado para o formato e diâmetro final da lata. Então, ocorre o estiramento e afinamento das paredes através de três conformadores. A última etapa é quando o punção pressiona o fundo da lata, fazendo com que se forme o domo. O domo se comporta como o arco de uma ponte e a importância disso é prevenir que a parte inferior da lata se rompa quando submetida a pressão. Após isso as sobras desuniformes na parte superior da lata precisam ser cortadas pelo Trimmer, isso ocorre devido ao fato de que a liga de alumínio não possui as mesmas propriedades em todas as direções, por isso a parte superior da lata fica ondulada. Então para que a lata fique plana a máquina corta um quarto de polegada da parte superior (HOSFORD, DUNCAN, 1994).

- **Lavagem e secagem:** o processo de formação do corpo deixa alguns resíduos e partículas, por este motivo a lata precisa ser lavada internamente e externamente, então as latas que já passaram pelo processo de conformação mecânica passam por esta lavagem que é feita com alta eficiência e logo depois as latas passam por um forno que seca as latas. Quando esse processo está

finalizado, as latas estão preparadas para passar pelo processo de impressão dos rótulos (ABRALATAS, 2016).

- **Impressão do rótulo e revestimento externo:** após lavadas e secas, as latas vão para o processo posterior que é a impressão de rótulos, realizado através da flexografia ou litografia, que tem capacidade de utilizar até oito cores, que são aplicadas quando a lata está em movimento. Logo após isso a lata recebe uma aplicação de verniz externo incolor, para que ela fique com um acabamento melhor e com mais brilho, isso também evita que a tinta descasque. É aplicada também uma camada no fundo da lata, para garantir que esta se mova com facilidade durante todo o restante do processo (ABRALATAS, 2016).

- **Revestimento interno e curagem:** após passar pelo processo de impressão do rótulo, as latas passam por um forno (PinOven) que tem o objetivo de realizar a cura do verniz externo. Depois disso, o verniz interno é aplicado, formando uma proteção no interior da lata. Esse processo é feito para que a bebida envasada não entre em contato com o alumínio, isso evita oxidação ou alguma mudança no sabor da bebida. Depois que o verniz interno é aplicado, as latas passam por outro forno (IBO) que faz a cura deste (ABRALATAS, 2016).

No processo de aspersão sem ar (airless) ou pistola de alta pressão ou hidráulica, a atomização da tinta é realizada através da





GESTÃO DA PRODUÇÃO EM FOCO

LEAN SIX SIGMA

pressão de impulsionamento, que joga a tinta para fora do equipamento a uma grande velocidade (GENTIL, 2012).

- **Formação do pescoço:** com o verniz interno já curado, a lata passa por uma máquina que faz o processo de formação do pescoço, onde a extremidade superior da lata é submetida a uma pressão que reduz o tamanho da boca da lata, assim é formado o pescoço e o perfil da borda onde a tampa será encaixada (ABRALATAS, 2016).

- **Controle de qualidade:** em cada etapa da produção as latas passam por teste de

controle da qualidade. No final do processo vários testes são realizados, como feixes de luz com alta intensidade e câmeras que fazem inspeção interna e externa da lata, detectando até mesmo os defeitos mais imperceptíveis. No fim as latas defeituosas são excluídas do processo (ABRALATAS, 2016).

- **Paletização:** Depois que as latas passam por todo o processo de fabricação e pela inspeção, as mesmas são empilhadas em pallets (ABRALATAS, 2016).



Figura 3: Lata final

Rebite

Utilizado para segurar a presilha para a lata.

Abridor

Essa parte separada de metal é presa no rebite.

Pescoço

O corpo da lata é diminuído para acomodar a tampa.

Tampa

Os fabricantes fazem o diâmetro da tampa menor que o corpo.

Abertura marcada

Através deste mecanismo a lata pode ser aberta facilmente.

Flange

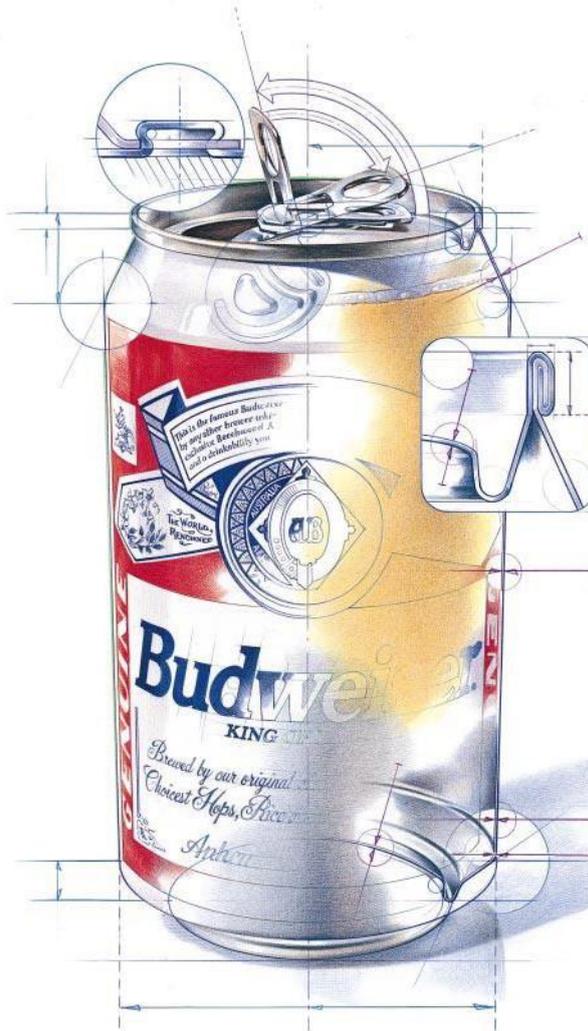
É uma curvatura que possui a finalidade de segurar a tampa.

Corpo

Suporta uma pressão interna de 90 libras por polegada quadrada e suporta 250 libras.

Rótulo

O processo que afina a lata produz uma superfície altamente apropriada para decoração



Fonte: Hosford, Duncan (1994)

A figura 3 representa a lata final, ou seja, representa uma lata que já passou por todos os processos de fabricação, inclusive a colocação da tampa, que é outro processo de fabricação alheio a fabricação de latas.

Verniz interno

A proteção das embalagens metálicas, como alumínio e aço cromado, é realizada tanto interiormente quanto exteriormente através de um revestimento orgânico. O verniz é aplicado no interior da lata com a função





de mitigar as interações dos produtos com a embalagem metálica, portanto precisam resistir a deformações mecânicas, tratamentos térmicos, impedir que o sabor ou odor do produto seja alterado, além de não poder apresentar toxicidade (JORGE, 2013).

Em embalagens para bebidas de duas peças é utilizado verniz a base de água, enquanto o verniz para embalagens de três peças é a base de solventes, possuindo resistência a abrasão e corrosão (VALSPAR, 2018).

O verniz interno utilizado para revestir embalagens metálicas para bebidas carbonatadas são as resinas epoxiamidas, que são o resultado da reação entre grupos epóxi e hidroxila de resinas epoxídicas com funções aminas (ureia, melanina), que tem como resultado um verniz que possui uma ótima resistência a esterilização quando submetida a altas temperaturas (JORGE, 2013).

O processo de aplicação de verniz interno é um PCC (Ponto Crítico de Controle) que é definido por SCHEWARS et al. (2016) como qualquer etapa do processo que tem a necessidade de ser devidamente controlada sobre alguma ou várias causas, que possam ocasionar a contaminação do produto, objetivando a prevenção, a eliminação dos perigos potenciais de contaminação do produto ou a redução a limites aceitáveis.

Os revestimentos orgânicos devem possuir algumas características principais, tais como resistir a tratamentos térmicos e a abrasão, aderir bem ao substrato do alumínio, flexibilidade, baixo custo, forma facilitada de aplicação e cura, resistir quimicamente e não permitir que o produto sofra alteração no sabor ou odor (JORGE, 2013).

Interação entre a embalagem e a bebida

Para evitar a corrosão existem técnicas que fazem a proteção de determinado material, por exemplo aplicação de tintas, que é uma das mais utilizadas por alguns fatores, como a sua fácil aplicação e manutenção, custo-benefício, impermeabilização, ajuda na segurança industrial, entre outros (GENTIL, 2012).

A parte interna das embalagens metálicas é revestida por polímeros que tem a finalidade de bloquear o contato entre o alimento e o metal, dessa maneira a possibilidade de ocorrência de reações de interação é minimizada. Já o verniz externo tem o objetivo de proteger a embalagem das ações do ambiente extrínseco (SOARES, 2013).

Para que o alimento não sofra deterioração, são adicionados alguns ácidos orgânicos como uma maneira de conservar o alimento, por exemplo o ácido cítrico, que pode danificar as





embalagens metálicas. Como forma de evitar que o recipiente seja atacado, a recomendação é que a parte interna das latas seja revestida com resina epóxi-fenólica ou que se utilize outro tipo de material para a embalagem como o vidro (GENTIL, 2012).

Enquanto o produto está em estoque podem ocorrer reações por causa da interação entre o alimento ou bebida e a embalagem. O fenômeno da passagem de substâncias advindas do polímero e a permeabilidade são observados em materiais poliméricos, se tratando de gases e umidade, nos ambientes interno e externo. A corrosão é observada nas embalagens de metal, devido a interação do metal com o meio e quando a embalagem tem um revestimento polimérico (verniz) há também o fenômeno de migração (SOARES, 2018).

Quando ocorre a corrosão interna de embalagens metálicas, dois fatores precisam ser considerados: a passagem de metais da embalagem para o alimento ou bebida e o comprometimento da qualidade do produto. As consequências disso são: a alteração da cor do produto, a impropriedade do consumo se os metais que migraram para o produto estiverem acima dos limites pré-estabelecidos, além de perdas financeiras para a indústria (SOARES, 2013).

Corrosão de metais

A corrosão pode ser definida como um efeito de uma reação química indesejada na superfície de ferro e aço. A corrosão causa a deterioração da superfície e nas propriedades estruturais da composição do ferro (FORNARI, FERREIRA, 2001). Corrosão é quando os elementos do meio reagem com o metal, neste processo o metal passa a ser não-metálico. Com isto, o metal perde suas características, como resistência mecânica, elasticidade e ductilidade e fica muito deficiente quanto a essas propriedades quando se torna não-metálico (RAMANATHAN, 1997).

Em uma visão bastante difundida e aceita no mundo todo, a corrosão pode ser definida como o processo de deterioração de um determinado material, metálico ou não, através da química ou eletroquímica do meio ambiente e pode ter relação com esforços mecânicos ou não. Essa deterioração causa desgaste, variações químicas ou mudanças na estrutura, o que faz com que o material se torne obsoleto, tudo isso é atribuído a interação físico-química entre o meio e o material (GENTIL, 2012).

Geralmente a corrosão pode ser considerada como um processo que ocorre de forma espontânea, onde os materiais metálicos são transformados constantemente, isso faz com que seu desempenho e durabilidade não





satisfaçam a necessidade final do mesmo (GENTIL, 2012).

Quando os átomos do metal perdem elétrons e estes se transformam em íons, é quando ocorre a corrosão eletroquímica, que é a mais comum quando se trata de corrosão de materiais. Geralmente pode ocorrer a formação de um subproduto devido à corrosão, a medida em que o metal vai sendo corroído de forma gradual. Normalmente, a corrosão eletroquímica acontece em meio aquoso (ASKELAND, WRIGHT, 2015).

A perda da qualidade e integridade dos produtos, que está relacionado a aspectos econômicos referentes a indústria, e a passagem de metais da embalagem para a bebida ou alimento, que é uma questão de saúde pública, são resultados da corrosão dentro das embalagens alimentícias (SOARES, 2013).

As classificações da corrosão são: corrosão seca ou corrosão aquosa (necessita de água para que ocorra). De forma geral, em quase todas as ocorrências de corrosão aquosa considera-se que são de natureza eletroquímica. Ou seja, existe corrente elétrica passando de algumas partes do metal para outras, por meio de solução aquosa que seja capaz de conduzir eletricidade (RAMANATHAN, 1997).

Consequências da corrosão

As embalagens necessitam de cuidados específicos para garantir que haja compatibilidade com os alimentos e bebidas, para que não ocorra contaminação, pois não são inertes, podendo contaminar a bebida com substâncias tóxicas. A embalagem e o alimento precisam ser compatíveis devido a segurança necessária para evitar que substâncias da embalagem que possam passar para o alimento o contaminem, não ocasionando a alteração das características sensoriais dos alimentos, ou também compostos tóxicos que podem ser formados e acarretem na impossibilidade de consumir-se o alimento (SOARES, 2013).

Na pior das hipóteses, um dos efeitos do processo de corrosão em embalagens de alumínio é o rompimento do mesmo, causado pelo desenvolvimento da corrosão de pites, ocasionando o vazamento do alimento ou bebida, que entra em contato com os outros produtos em estoque e obviamente a perda deste. A parte externa das latas não possui o mesmo tipo de revestimento que a parte interna recebe, que possui a função de protegê-la da interação com meios ácidos, portanto se houver um contato por um longo período de tempo entre as latas estocadas e o produto que vazou, é provável que ocorra a corrosão





secundária das outras embalagens (SOARES, 2013).

A corrosão pode causar custos indiretos, que são mais complicados no que tange a uma avaliação de perdas, mas podem causar custos mais altos do que as perdas diretas e nem sempre é possível realizar uma mensuração. Uma das perdas indiretas é a contaminação de produtos alimentícios ou bebidas, por causa disso não é permitido a utilização de chumbo na preparação destes, pois as mínimas quantidades de sais de chumbo que possuem propriedades tóxicas podem ocasionar em uma doença chamada saturnismo, que ataca o sistema nervoso (GENTIL, 2012).

Os alimentos são considerados meios corrosivos, porém em menor escala se comparados com a atmosfera, águas naturais, solo e produtos químicos. As ações de corrosão são mínimas, portanto, em algumas bebidas, como cerveja e vinhos brancos pode observar-se pequenas quantidades de estanho que ocasionam turvação na bebida (GENTIL, 2012).

Seis Sigma

O termo Seis Sigma faz referência a medições estatísticas da taxa de defeitos

em um sistema. E é sustentado por ferramentas estatísticas, apresenta uma forma estruturada e sistemática de abordar o melhoramento de um processo, objetivando a redução de defeitos, podendo chegar a 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (PEPPER; SPEDDING, 2010).

Com isso tem-se o conceito de que o Seis Sigma é uma filosofia que utiliza de ferramentas e métodos para encontrar e eliminar as causas raiz dos defeitos ou erros nos processos, com foco nos outputs que são muito importantes para os clientes (MIAL, Abu. et al, 2017). O Seis Sigma é uma abordagem que faz uso da estatística para que haja redução na variação de processo e conseqüentemente para que os defeitos sejam reduzidos (REBELATO, 2009).

Com isso é relevante ressaltar que na estatística, o símbolo (σ) sigma mede a variabilidade dentro de um processo, definido pelo desvio padrão. Quando os dados apresentados são normais do ponto de vista estatístico, o sigma representa 2 partes por bilhão. Então, se um processo tem flutuação de 1,5 a longo prazo, a tendência é que ele opere com uma taxa de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (EHIE, SHEU, 2005).

Tabela 2: Tradução do nível da qualidade para a linguagem financeira

Nível da qualidade	Defeitos por milhão (ppm)	Custo da não qualidade
--------------------	---------------------------	------------------------





		(percentual do faturamento da empresa)
Dois sigma	308.537	Não se aplica
Três sigma	66.807	25 a 40%
Quatro sigma	6.210	15 a 25%
Cinco sigma	233	5 a 15%
Seis sigma	3,4	< 1%

Fonte: Werkema (2012 p.17)

Portanto, o Seis Sigma é uma estratégia que exige disciplina, é de natureza quantitativa e o seu foco é aumentar o lucro das organizações, através do aperfeiçoamento da qualidade de produtos e serviços, e deste modo

satisfazendo os clientes. A maioria das empresas utiliza o padrão quatro sigma que corresponde a 99,38% de conformidade, enquanto o Seis Sigma corresponde a 99,99966% de conformidade (WERKEMA, 2012).

Quadro 1: Comparação entre o padrão atual (Quatro Sigma) e performance Seis Sigma

Comparação entre o padrão atual (Quatro Sigma) e a performance Seis Sigma	
Quatro Sigma (99,38% conforme)	Seis Sigma (99,99966% conforme)
Sete horas de falta de energia por mês	Uma hora de falta de energia elétrica a cada 34 anos
5.000 operações cirúrgicas incorretas por semana	1,7 operação cirúrgica incorreta por semana
3.000 cartas extraviadas para cada 300.00 cartas postadas	Uma carta extraviada para cada 300.000 cartas postadas
Quinze minutos de fornecimento de água não potável por dia	Um minuto de fornecimento de água não potável a cada sete meses

Fonte:Werkema (2012 p.16)





Aparentemente é uma diferença pequena, para não dizer irrelevante, mas se esses valores forem aplicados a grandes quantidades essa diferença de porcentagem se torna bastante significativa (WERKEMA, 2012).

DMAIC

O DAIC é uma metodologia estruturada para resolução de problemas, é bastante utilizado na melhoria da qualidade dos processos e em projetos Seis Sigma. Contudo, o DMAIC não está necessariamente vinculado formalmente com o Seis Sigma e pode ser usado em vários contextos. A sigla DMAIC

representa cinco passos: Definir, Medir, Analisar, Implementar e Controlar (MONTGOMERY, 2009).

No passo **definir**: define-se o problema e identifica-se qual o objetivo do cliente através do projeto. **Medir**: aspectos do processo atual e coleta de dados significativos. **Analisar**: analisa-se os dados coletados para investigação e verificação de causa-efeito, feito isso se define qual dessas relações são responsáveis pelo problema, verificando se todos os fatores foram considerados e procurando por todas as causas raiz (MIAL. Et Al, 2017).

Quadro 2: Principais ferramentas utilizadas no DMAIC

Ferramentas	Definir	Medir	Analisar	Implementar	Controlar
Team Charter	X				
Mapeamento de processo	X				
Fluxograma		X			
Análise de causa e efeito		X			
Análise de capacidade do processo		X			
Testes de hipótese			X		
Intervalos de confiança			X		
Análise de regressão			X		





Análise de R&R		X			
Modo de falha			X		
Análise de efeitos			X		
Experiências de Design			X	X	
SPC e planos de controle		X	X		X

Fonte: adaptado de Montgomery (2009)

Na etapa **Otimizar ou implementar**: é o passo onde as melhorias são implementadas com base na análise dos dados coletados. Utilizando-se o poka-yoke, que é um sistema a prova de erros, executa-se os planos de ação e cria-se um estado futuro do processo. E por fim a etapa **controlar**, onde são implementadas ferramentas de controle no processo futuro, para garantir que qualquer desvio não programado no processo cause

defeitos. É importante também monitorar o processo continuamente (MIAL. Et Al, 2017).

Com isso pode-se dizer que o DMAIC é bem-sucedido por várias razões, mas uma delas é o foco em utilizar um conjunto relativamente pequeno de ferramentas (MONTGOMERY, 2009). O quadro 2 mostra as principais ferramentas utilizadas em cada etapa do DMAIC.

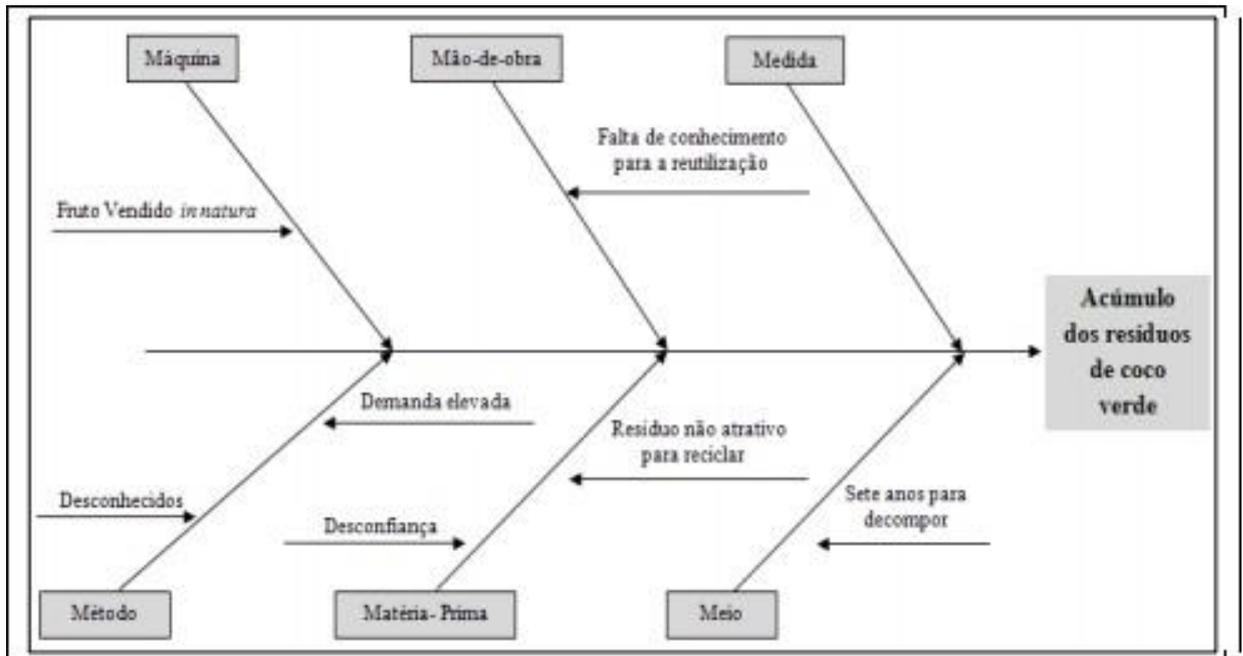
Ishikawa

O diagrama de Ishikawa ou diagrama de causa e efeito ou “espinha de peixe” foi criado pelo químico Kaoru Ishikawa em 1953, com o objetivo de relacionar de forma sistemática as causas e efeitos do resultado de um determinado processo. Esses fatores podem ser classificados como (RAMOS, ALMEIDA E ARAÚJO, 2013):

- Mão de obra;
- Máquina;
- Matéria-prima;
- Métodos;
- Medida;
- Meio ambiente.

Figura 4: Diagrama de Ishikawa





Fonte: Fornari (2010)

Para construir um diagrama de Ishikawa é necessário fazer a identificação o efeito ou problema a ser resolvido, depois realiza-se o desenho do diagrama (RAMOS, ALMEIDA E ARAÚJO, 2013) conforme modelo representado na figura 4.

Variabilidade de processo

A qualidade é inversamente proporcional à variabilidade, e quando se trata de melhorar a qualidade é justamente sobre reduzir a variabilidade nos processos e produtos (MONTGOMERY, 2009).

Para realização de estudos que objetivam saber como o processo se comporta, é necessário que haja a utilização do

Controle Estatístico de Processos (CEP), que tem como base duas importantes premissas: a primeira delas é a de que as pequenas variações inerentes ao processo são normais e acontecem dentro de determinados limites e que variações muito grandes são raras, a segunda premissa é que quando ocorrer que o processo apresente uma variação fora dos seu limites normais de controle, certamente existem uma ou mais razões para este acontecimento mas que quando identificadas poderão ser eliminadas (LINS, 1993).

Causas Comuns e Especiais

Com relação à variabilidade em um determinado processo existem causas que podem ser classificadas em: causas





especiais que ocorrem inevitavelmente, podem ser conhecidas ou não e não há como controla-las e as causas comuns que podem ser conhecidas e controladas (SOARES, 2001).

As causas comuns são variações que interferem em todos os valores característicos do processo. As origens são diversas, mas nenhuma predomina sobre a outra. Quando apenas causas comuns estiverem em um processo e de forma controlada, este pode ser considerado sob controle ou estatisticamente estável (TORMINATO, 2004).

As causas especiais afetam o processo de forma imprevisível e não podem ser explicadas de forma adequada, porque não é possível estabelecer um padrão. A causa especial produz resultados bastante discrepantes se comparados aos outros valores. Essas variações esporádicas advêm da interação entre máquinas, métodos, mão-de-obra e materiais. Lote de matéria-prima, ferramenta quebrada, desregulagem acidental de máquina são exemplos de causas especiais (TORMINATO, 2004).

Não é possível que a variabilidade seja eliminada, porém ela pode ser controlada e conhecida na condição de que apenas causas comuns (controláveis) interferem no processo, só dessa maneira é possível dizer que o processo é controlado e previsível (SOARES, 2001).

Índices de capacidade e capacidade do processo

Para realizar a análise de capacidade de um processo, é necessário se basear na probabilidade e na estatística para avaliação de adequação a padrões pré-estabelecidos (VACCARO, MARTINS E MENEZES, 2009).

A realização da análise de capacidade é de suma importância quando se utiliza o CEP, porque faz com que quem está analisando o processo determine como as especificações e limites de tolerância do processo serão satisfeitas e também realizar o diagnóstico do controle dos processos, checando se estes têm capacidade ou não de satisfazer o que o cliente solicita (TORMINATO, 2004).

Os índices de capacidade de processo mais utilizados são (MONTGOMERY, 2009; TORMINATO, 2004; RAMOS, ALMEIDA, ARAÚJO, 2013):

- Cp: faz a medição da habilidade potencial do processo quanto a satisfação das especificações quando o processo está sob controle, e é definido por:

$$\frac{LSE - LSE}{6\sigma} \dots\dots\dots (1)$$

LSE = limite superior de especificação;





LIE = limite inferior de especificação;

σ = desvio padrão do processo.

o processo está em relação aos limites superior e inferior (RAMOS, ALMEIDA, ARAÚJO, 2013).

O cálculo do Cp é calculado através das seguintes fórmulas:

Quanto a interpretação dos índices de capacidade do processo tem-se (RAMOS, ALMEIDA, ARAÚJO, 2013):

$$Cp = \frac{US - LS}{6\sigma} \quad (2)$$

- $Cp < 1,00$ representa que a capacidade do processo não atende as especificações, é considerado como um

Além disso, o Cpk avalia a variabilidade natural do processo relacionada a variabilidade permitida e também como

- Cpk: realiza a medição da capacidade efetiva do processo, ou seja, quantos desvio padrão existem no intervalo entre o limite especificado e a média do processo, através das seguintes fórmulas (RAMOS, ALMEIDA, ARAÚJO, 2013):

$$Cpk = \min \left\{ \frac{US - \bar{x}}{3\sigma}; \frac{\bar{x} - LS}{3\sigma} \right\}, \dots$$

(3) onde

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

e

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{3}}$$



processo vermelho. Para que a situação seja revertida é necessário que haja um trabalho para redução da variabilidade ou fazer com que o trabalho seja realizado de outra maneira para que atenda as especificações.

- $1,00 \leq Cp \leq 1,33$ representa que a capacidade do processo é suficiente para atender as especificações, todavia está categorizado como um processo amarelo e será necessário realizar um trabalho de redução de variabilidade.

- $Cp > 1,33$ representa que a capacidade do processo é suficiente para atender a especificação, está categorizado como um processo verde. Neste caso, não há necessidade de redução da variabilidade, a não ser que se queira aumentar a qualidade do produto final.

Índices de desempenho potencial de um processo

De acordo com a AIAG (Automotive Industry Action Group) os índices de





desempenho Pp e Ppk são utilizados quando o processo não está controlado, para este cálculo são utilizadas as seguinte fórmulas:

$$Pp = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \dots\dots\dots (6)$$

$$Ppk = \min \left(\frac{USL - \bar{x}}{3\sigma}, \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma} \right) \dots\dots\dots (7)$$

Sendo,

S = desvio padrão

\bar{x} = estimativa de m.

LIE = Limite inferior de especificação

LSE = Limite superior de especificação

Controle estatístico de processo (CEP)

A combinação de pessoas, métodos, ferramentas, equipamentos e matéria-prima, que tem como objetivo gerar um produto ou serviço é uma das definições de processo (LINS, 1993).

O controle da qualidade não é um assunto novo, na verdade surgiu praticamente junto com a indústria. Por vários anos o controle de qualidade era

1920 surgiu o conceito de estatístico de qualidade, que vem sendo bastante utilizada nos países industrializados (LOURENÇO FILHO, 1964).

O controle de qualidade é bastante abrangente e complexo, pois contempla todas as áreas de uma determinada indústria, une todos para alcançar um objetivo comum, que é aperfeiçoar e manter a qualidade da produção quando

se trata de fatores econômicos e por fim para que os desejos dos clientes sejam satisfeitos (LOURENÇO FILHO, 1964).

Para que a qualidade seja melhorada é necessário a buscar melhorias contínuas, feito como uma inspeção. No ano de



que quando acontecem de forma interrompida, contribuem com o reconhecimento de problemas, ações corretivas como prioridade e implantação das mesmas dando sequência nessa postura de pro atividade e ações corretas (SILVA, 1999).

GESTÃO DA PRODUÇÃO EM FOCO



LEAN SIX SIGMA

Existem várias ferramentas para utilização em melhorias, mas a estatística é uma das principais. Por isto investigar as raízes de problemas deve ser algo contínuo e o que se faz para obtenção dessas melhorias deve ser feito. O CEP é uma das áreas da qualidade que: coleta, analisa e interpreta dados através da padronização, comparação de desempenhos e checagem de qualquer desvio, para que no fim tudo isso seja utilizado em melhorias e controle de qualidade dos serviços e produtos oferecidos (SILVA, 1999).



Editora Conhecimento Livre



A estatística é utilizada como uma ferramenta que analisa a capacidade e restrições do processo no Controle Estatístico de Processo, que é uma das melhores metodologias criadas afim de controlar a qualidade do produto de forma eficaz e atuar também na qualidade dos processos (TORMINATO, 2004).

Os defeitos podem ser definidos como uma não-conformidade de determinado produto as especificações pré-estabelecidas. Os defeitos são classificados através de uma enumeração que faz a avaliação da variação da qualidade (LOURENÇO FILHO, 1964).

Para que a compreensão do controle de processo seja boa e para que haja entendimento claro é necessário ressaltar que a variabilidade está diretamente conectada com a qualidade do processo. Um dos comportamentos inerentes ao processo é que jamais serão produzidos produtos exatamente iguais. A variabilidade pode ser mínima, mas nunca deixará de existir, não importa o tamanho ou o formato do produto, com a avançada tecnologia que se tem essa variabilidade é mínima, o que requer métodos e equipamentos que meçam e controlem de maneira adequada (SOARES, 2001).

Gráficos de Controle

Uma das ferramentas utilizadas para o controle de variação de processo é o gráfico de controle, utilizado inicialmente por Shewhart. O gráfico de controle pode ser feito de forma manual ou através de softwares, e é definido como uma representação gráfica dos resultados das dimensões amostrais de um processo (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013). No gráfico de controle tem-se as linhas de controle que podem ser classificadas como limite inferior de controle (LIC) e limite superior de controle (LSC), a função destas é mostrar se o processo está controlado estatisticamente ou se tem alguma variação aleatória (RAMOS, ALMEIDA E ARAÚJO, 2013).

A carta de controle pode ser chamada também de carta de Shewhart, que foi o estatístico responsável pelo desenvolvimento desta ferramenta, que possui a finalidade de acompanhar processos (LINS, 1993).



GESTÃO DA PRODUÇÃO EM FOCO



LEAN SIX SIGMA



Editora Conhecimento Livre



Estudo de caso

O presente estudo de caso foi realizado em uma fábrica de embalagens metálicas para bebidas, nas máquinas do setor de aplicação de verniz interno, que teve como objetivo identificar as variáveis que causam variabilidade no processo de aplicação deste insumo, e propor soluções para mitigá-las.

O processo de aplicação de verniz interno

Como o processo de aplicação de verniz interno é algo bastante específico, o seu funcionamento será explicado de maneira detalhada. A lata chega ao setor responsável pela aplicação de verniz através de esteiras transportadoras, vão para as guias de alimentação das máquinas e finalmente chegam as rodas estrelas, onde a lata é fixada através de vácuo para a realização da aplicação. O abastecimento de verniz é realizado através de um sistema externo, que transporta o insumo para dentro da fábrica, onde fica armazenado em tanques. Então, o verniz passa por uma tubulação, onde é pressurizado e filtrado, para então chegar as pistolas de aplicação.

Após isso, o verniz é aplicado na lata através da pulverização, que é realizada através de bicos específicos para o processo, que estão acoplados a uma pistola de aplicação. Cada máquina

realiza a aplicação através de duas pistolas, com bicos de vazão e geometria de leque diferentes.

A geometria desses leques pode ser definida como simétrica ou assimétrica. Os bicos simétricos são aqueles que quando possuem o leque dividido ao meio tem uma distribuição de 50% em ambas as partes. Já o bico assimétrico quando dividido ao meio pode ter 10% do volume de um lado e 90% do outro, isso considerando só um tipo, pois atualmente, existem bicos assimétricos com diversas distribuições, como 80/20, 70/30 e 60/40, em termos de porcentagem.

Em um bico simétrico, considera-se que o ponto central de aplicação é exatamente o meio do leque, isso significa que a aplicação possui a mesma quantidade de verniz em ambos os lados, ou seja, se a aplicação possuir 200 mg de verniz, em um lado do leque teremos 100 mg e no outro também.

Para que a aplicação seja adequada, é necessário que haja um desperdício, chamado *Overspray*, que é uma pulverização excessiva, onde uma pequena parte da borda do leque é direcionada para fora da lata, o que garante que a lata esteja totalmente revestida em sua parte superior, ou seja, é uma aplicação para segurança do produto. O *Overspray* deve ser em torno de 2 a 5% do total do verniz pulverizado.





Outro ponto importante a ser considerado são os ajustes de máquina, que são essenciais para uma aplicação de verniz com qualidade e com o menor desperdício possível, e se forem realizados de maneira errada podem trazer problemas no produto final. Os principais ajustes são: pressão de spray, distância entre a boca e o bico aplicador, ângulo do bico aplicado, ângulo da pistola, altura da pistola, centralização do bico e tempo de aplicação.

O componente da máquina que mais se relaciona com o consumo de verniz é o bico aplicador, mais especificamente a vazão. A vazão possui relação direta com a pressão, ou seja, são diretamente proporcionais, se a pressão aumenta a vazão aumenta também. Para cada tipo de bico existe uma taxa de vazão fornecida através de uma tabela pelo fabricante dos bicos, além de fórmulas para a realização de cálculos de relação entre a vazão e pressão. Os ajustes de máquina que mais se relacionam com o peso de verniz, e são de mais fácil alteração são a pressão de spray e o tempo de aplicação.

A pressão do spray tem relação direta com o peso da película de verniz e o leque do bico aplicador, a alta pressão é primordial para que o desempenho do spray seja bom. A pressão afeta também a vazão do bico utilizado. Então, quando a pressão é reduzida a quantidade de verniz direcionada para o orifício do bico será menor, isso dentro do tempo de

spray determinado, e conseqüentemente haverá queda de peso. E se a pressão for aumentada a quantidade de verniz direcionada para o orifício do bico será maior, isso dentro do tempo de spray determinado, e conseqüentemente haverá aumento de peso da película do verniz.

O tempo de aplicação é essencial para obtenção de uma boa distribuição da película de verniz, quanto maior o tempo de aplicação mais vezes a lata rotaciona e mais voltas se obtém. Quanto menor o tempo de aplicação, menos voltas, a película de verniz fica mais frágil, e a distribuição fica menos uniforme. O controle é realizado através de um temporizador, e possui impacto direto no peso de verniz.

Após passar pelo processo de pulverização do verniz, as latas são transportadas para o forno de cura através de uma esteira com velocidade controlada a fim de garantir o escoamento adequado do verniz. Quando as latas chegam ao forno elas passam pelo processo de cura, onde o verniz é catalisado por temperatura, ou seja, acontece a aceleração de uma reação química, que neste caso é a cura, o que gera o processo de polimerização. Após a cura as latas estão prontas para passar para o processo seguinte.

O processo deste estudo de caso é considerado um PCC (Ponto crítico de controle), que está diretamente ligado a





segurança dos alimentos, neste caso a bebida. De acordo com a norma ABNT NBR ISO 22000:2006 - Sistemas de gestão da segurança de alimentos como, o PCC é definido como uma etapa do processo que precisa ser controlada, sendo assim essencial na prevenção ou eliminação de um perigo que tenha relação com a segurança de alimentos, ou então fazer com que seja reduzido a um nível aceitável (FROTA, 2013).

Define

Na etapa *Define*, foram definidos quais seriam os objetivos e benefícios do projeto, através de um *Brainstorming* em

uma reunião com gestores. Então ficou definido que o objetivo do projeto é a redução do consumo de verniz interno. Não foi estabelecida uma meta quantitativa por parte dos gestores, pois a meta depende do conhecimento do processo na prática, assim como a proposta de redução a ser elaborada.

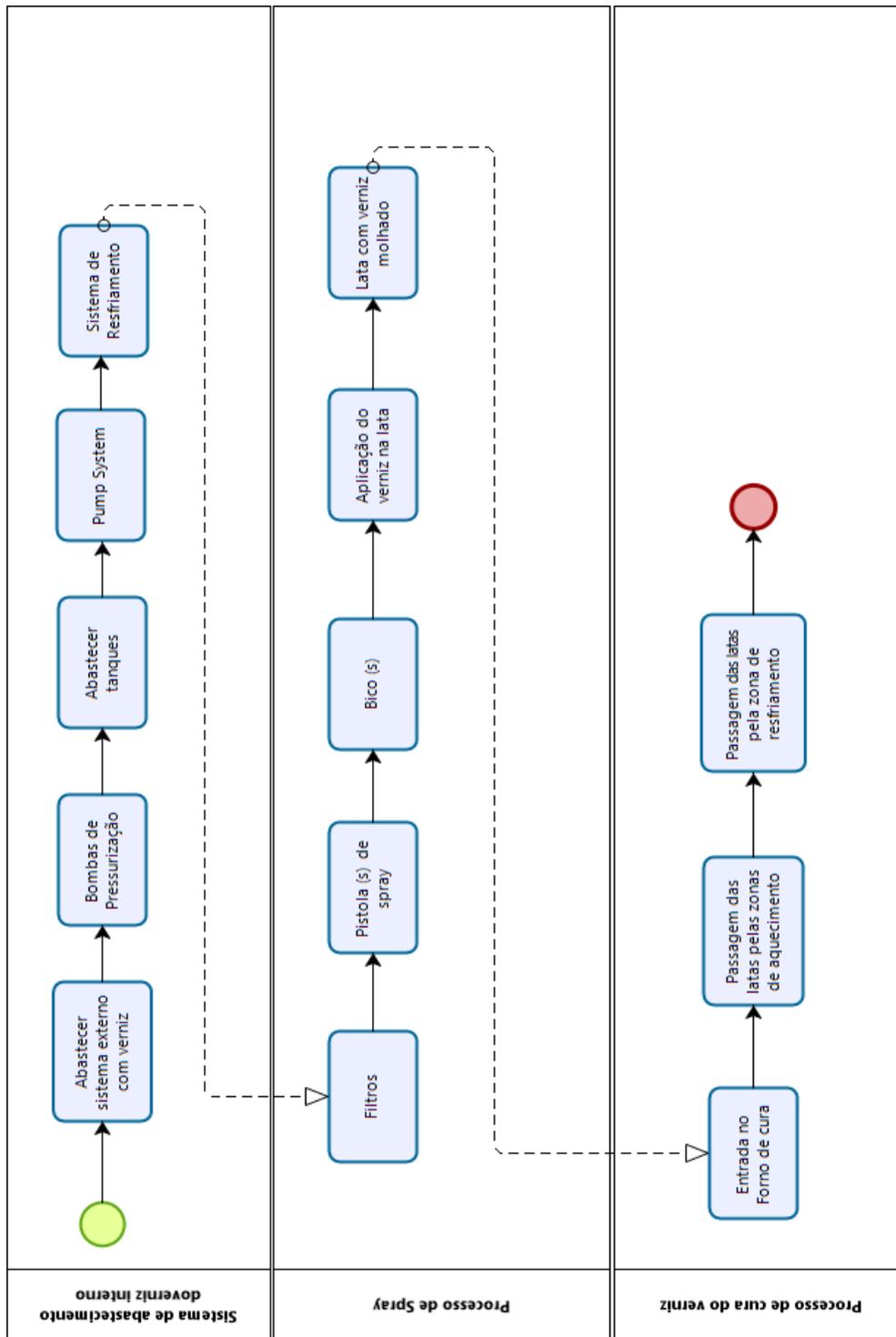
Foi definido que o progresso do projeto seria apresentado em uma reunião semanal à alta gerência, onde seria apresentado o que foi feito durante a semana e o que deveria ser feito a seguir. Em seguida foi feito o mapeamento do processo, apresentado na figura 5:





Figura 5: Mapeamento do processo de verniz interno





Fonte: o autor



Editora Conhecimento Livre



Com o mapeamento de todo o processo de aplicação de verniz interno foi possível ter uma visão geral do processo, e a partir disso realizar a visualização das etapas de estudo do processo, para a elaboração da proposta de redução.

A redução do consumo deste insumo objetiva a redução de custos da produção mantendo a qualidade final do produto. O *Sponsor* deste projeto, ou seja, o patrocinador, é o gerente de planta, responsável por toda fábrica.

Measure

O processo de aplicação de verniz interno possui alguns testes para a verificação da qualidade da película aplicada. O teste de metal exposto verifica se há alguma área da lata em que

Figura 6: Áreas da lata

o verniz não foi bem aplicado, seja por contaminação de processos anteriores ou problemas no próprio setor de aplicação, realizado através de uma solução que mede a corrente elétrica dentro da lata. Outro teste semelhante a esse é realizado com uma solução que acelera o processo de corrosão e é deixada na lata por determinado período de tempo, depois mede-se a corrente elétrica dentro da lata com uma solução condutora a fim de verificar o nível de metal exposto.

O teste de distribuição da película verifica a uniformidade da aplicação de verniz, vários pontos são medidos na lata, mais especificamente nas seguintes áreas: Top, Middle, Bottom e Dome, que estão representadas na figura 6:





Fonte: adaptado de Freepik

Outro teste realizado é o de peso do verniz seco na lata, realizado através de uma balança analítica. Através deste teste é possível verificar o consumo de verniz por máquina. A proposta de redução será elaborada através dos resultados destes testes, que servem para qualificar se a máquina está operando dentro dos parâmetros de consumo.

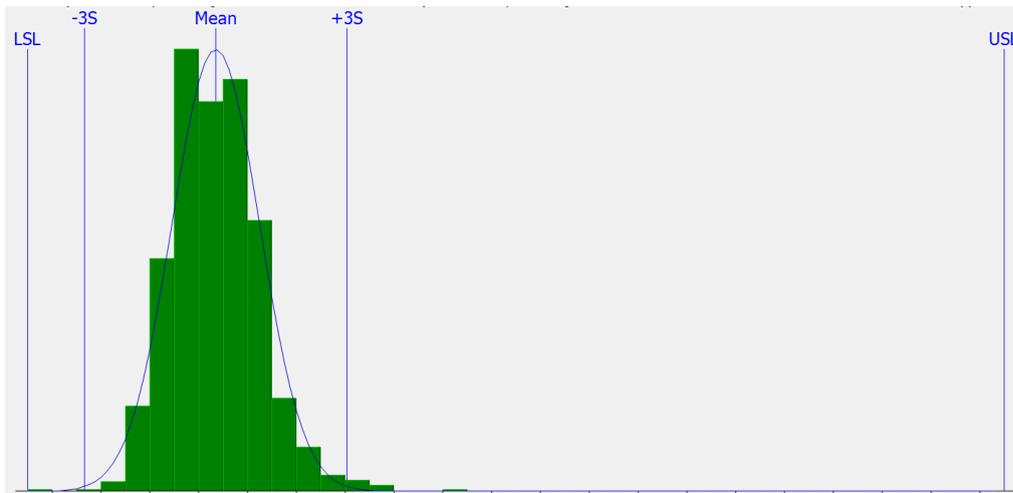
Inicialmente a coleta de dados foi realizada através do banco de dados de testes realizados pelo setor de qualidade, objetivando a verificação da variabilidade do processo. Então foram gerados histogramas no próprio sistema da empresa que mostrassem a variabilidade do processo através dos testes de distribuição de verniz interno. Nesses gráficos notou-se que há bastante

diferença na aplicação entre as máquinas, por isso a aplicação é maior do que o necessário, o que causa impactos financeiros, ou seja, consumo mais alto do que o necessário.

Essa diferença pode ser vista devido aos valores de performance efetiva do processo, e visualmente através dos histogramas gerados pelo sistema interno da empresa. Nesta etapa de verificação da variabilidade do processo serão utilizados somente dados dos testes de distribuição, porque assim consegue-se visualizar melhor qual tem sido o comportamento da película de verniz quanto a uniformidade da aplicação. Os dados de performance do processo (ppk) de todas as máquinas variam de 1,432 a 0,766, que representam sigma de 4,296 e 2,298.

Gráfico 1: Histograma da máquina de menor variabilidade



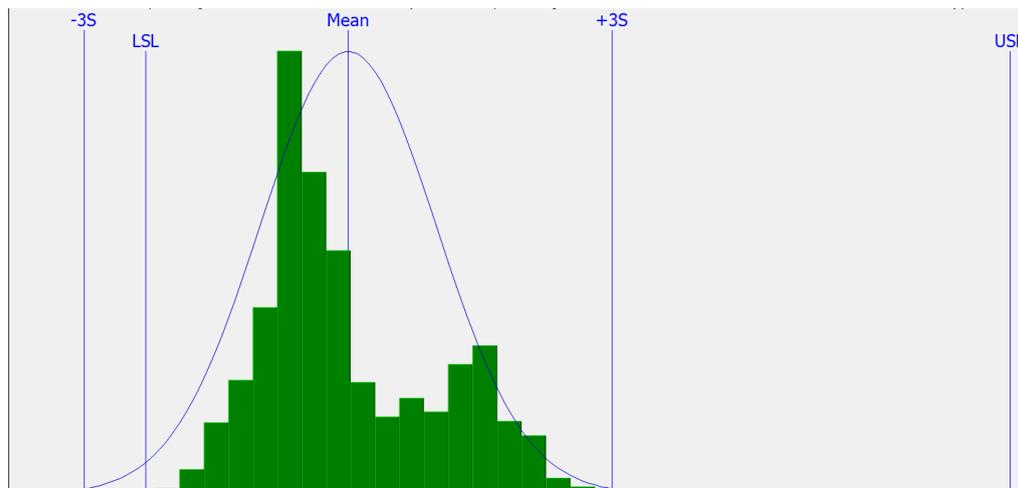


Fonte: banco de dados da empresa

Quando comparado com o gráfico 2, o gráfico 1 apresenta maior normalidade na distribuição dos dados.

Gráfico 2: Histograma da máquina de maior variabilidade





Fonte: banco de dados da empresa

Com esses dados já se pode perceber a discrepância na variabilidade de processo, mas para verificá-la de maneira mais aprofundada, e mostrar de forma mais aproximada da realidade o comportamento geral das máquinas, foram realizados mapas de distribuição do verniz interno no interior da lata, ou seja, a medição ponto a ponto das amostras. Nesta etapa foi necessário que as latas fossem cortadas e abertas para a medição. Nos gráficos 3 e 4 há a comprovação de que há alta variabilidade entre as máquinas.

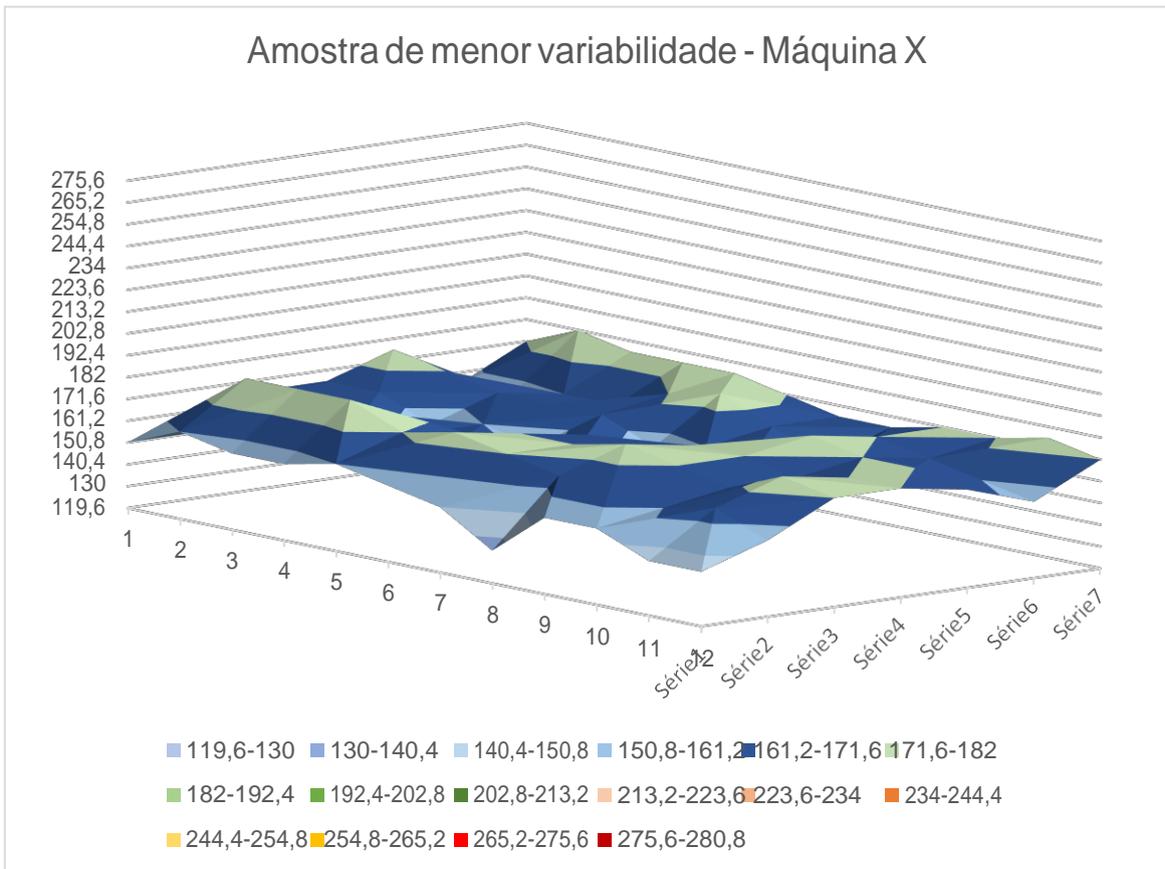
A coleta de dados foi realizada conforme o conceito da NBR 5426 – Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos da ABNT, onde é permitido realizar a coleta de dados por

Amostragem Atenuada desde que a inspeção normal já esteja sendo realizada (essa condição já é procedimento padrão da empresa), e que os 10 lotes precedentes submetidos a essa inspeção normal não tenham sido rejeitados, e quando a produção se desenvolve com regularidade.

Então, foram coletadas 3 latas por máquina para a realização de mapas de distribuição da película de verniz. As amostras de maior e menor variabilidade estão presentes no gráfico 3 e gráfico 4. Essa escolha foi feita através do cálculo de desvio-padrão de todas as amostras, então, foram selecionadas aquelas que apresentaram maior e menor desvio.

Gráfico 3: amostra de menor variabilidade





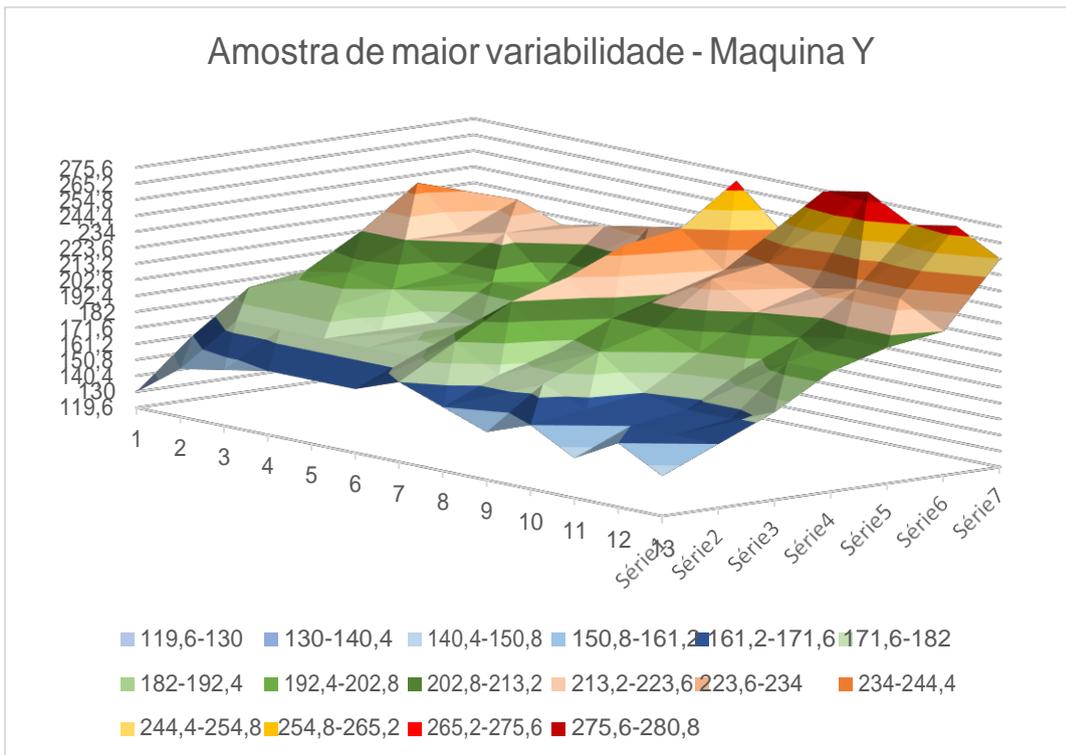
Fonte: o autor

Foram medidos vários pontos na superfície da lata. As amostras dessa máquina foram as que apresentaram menor desvio-padrão. Considerando todas as amostras

coletadas desta máquina a média dos desvio-padrão foi de 0,212989.



Gráfico 4: Amostra de maior variabilidade



Fonte: o autor

A média dos desvio-padrão para a máquina Y foi de 0,50898, o que comprova maior variabilidade se comparada com a máquina X. As outras

amostras das mesmas máquinas nos gráficos de distribuição da camada de verniz mostraram comportamento e desvio padrão similares.

Mensuração Overspray





Foi realizada a mensuração da aplicação de segurança (*Overspray*), para isso foi necessário realizar os seguintes passos:

Primeira etapa:

Nesta etapa serão utilizadas latas sem decoração para recolher as amostras.

1. Coletar 30 latas sem decoração, pesá-las em uma balança analítica e anotar os valores;
2. Pulverizar as latas na máquina de spray, sendo 3 latas por máquina e uma máquina por vez;
3. Coletar as latas logo na guia de saída da máquina e tampá-las para que o verniz não evapore;
4. Pesquisar as latas com o verniz molhado, tirando a diferença do aparato utilizado para tampar a lata.

Segunda etapa:

Nesta etapa serão utilizadas ponteiros para recolher o verniz, máquina a máquina.

$$\frac{\square\square\square\square \square\square\square\square\square\square\square\square\square\square - \square\square\square\square \square\square\square\square\square\square\square\square}{\square\square\square\square \square\square\square\square\square\square\square\square} \square 100 \dots\dots\dots$$

.... (8)

Os pesos de verniz obtidos através das latas representam o Peso sem overspray, e a soma do peso das ponteiros das pistolas 1 e 2 representam o peso com overspray, ou seja, esse último é o total

1. Utilizar ponteiros para recolher o verniz aplicado direto na pistola;
2. Escrever nas ponteiros qual será utilizada na pistola 1 e pistola 2;
3. Pesquisar ponteiros em uma balança analítica e anotar valores;
4. Posicionar a ponteira rente a pistola 1, jatear o verniz manualmente e tampá-la imediatamente para que o verniz não evapore;
5. Posicionar a ponteira rente a pistola 2, jatear o verniz manualmente e tampá-la imediatamente para que o verniz não evapore;
6. Pesquisar as ponteiros na balança analítica e anotar valores.

Antes de realizar os cálculos, os pesos das ponteiros das pistolas 1 e 2 de cada amostra foram somados para obtenção do total da aplicação com overspray. Para os cálculos será utilizada a seguinte fórmula:

de verniz aplicado na lata. Na tabela 3 tem-se os resultados dessa medição.

Conforme a teoria da aplicação do verniz interno, a porcentagem do *Overspray* deve ser entre 3 e 5%, e conforme os resultados apresentados na tabela 5 nota-





GESTÃO DA PRODUÇÃO EM FOCO

LEAN SIX SIGMA

se que todas as máquinas estão com uma alta porcentagem de aplicação de segurança, o que comprova ainda mais o desperdício, pois o verniz poderia estar sendo aplicado na lata está sendo jogado

fora, o que gera custos adicionais para a empresa, que precisa pagar para descartar os resíduos de verniz da maneira correta, de acordo com as normas ambientais.

Tabela 3: Medição *Overspray*



Editora Conhecimento Livre



OVERSPRAY (%)			
Máquina	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
A	14,706%	16,031%	11,339%
B	18,939%	12,868%	13,978%
C	15,507%	15,249%	13,711%
D	14,923%	14,154%	12,997%
E	16,109%	17,040%	17,814%
F	9,846%	10,404%	14,242%
G	13,464%	17,576%	15,385%
H	16,667%	8,911%	16,012%
I	16,692%	12,711%	11,846%
J	12,289%	9,502%	12,000%
Média	14,914%	13,444%	13,932%

Fonte: o autor

Com esses resultados é possível concluir que o *Overspray* apresenta porcentagens acima do recomendado que é de 2% a 5%, conforme visto na seção 4.1.

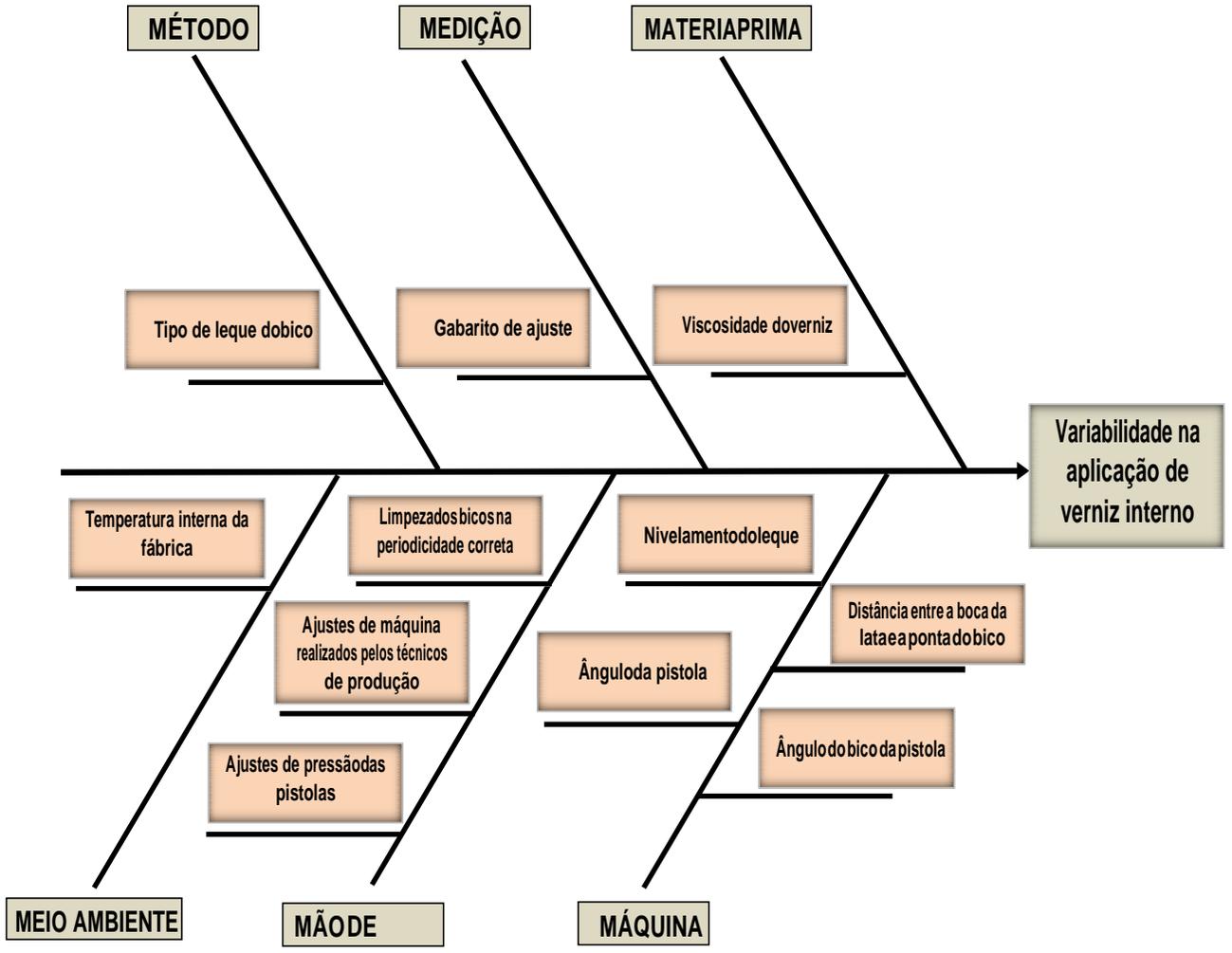
Analyse

Através de estudos realizados nos manuais da máquina e seus componentes, e perguntas aos técnicos

responsáveis pelas máquinas, foram coletadas informações sobre as causas da alta variabilidade do processo. Então, a partir das informações obtidas, foi elaborado um diagrama de Ishikawa, a fim de descobrir a causa raiz da variação.

Figura 7: Diagrama de Ishikawa





Fonte: o autor





Com o diagrama montado, tem-se uma visão mais ampla do problema estudado e está claro que há uma concentração maior nas causas relacionadas à mão-de-obra e máquina. Por isso, essas causas

Análise da causa raiz

Para este processo decisório foi utilizada a ferramenta 5 porquês.

Mediante a estudos e a todas as causas de variação apresentadas no diagrama de Ishikawa, viu-se que haviam dois problemas principais:

- Pressão fora dos padrões estabelecidos;

Figura 8: 5 por quês da variabilidade de pressão

passarão por um estudo mais aprofundado para verificar se são realmente as causas raízes procuradas, ou se são apenas consequências de outros fatores inerentes ao processo.

- As máquinas estão ajustadas de forma diferente umas das outras;
- Imprecisão do gabarito ajuste.

A fim de verificar a causa raiz da variabilidade de pressão, foi realizado uma investigação utilizando a ferramenta 5 por quês, como pode ser visto na figura 8:





Variabilidade de Pressão

POR QUE?

1°

Há divergência de pressão?

POR QUE?

2°

Os manômetros das máquinas estavam configurados em um intervalo diferente dos padrões especificados.

POR QUE?

3°

Os técnicos responsáveis alteraram as configurações para compensar outras falhas na máquina.

POR QUE?

4°

Não é realizada a limpeza de componentes que interferem na pressão na periodicidades correta, tais como bicos e filtros.

POR QUE?

5°

Não há controle que garanta que essas manutenções serão realizadas na periodicidade correta.

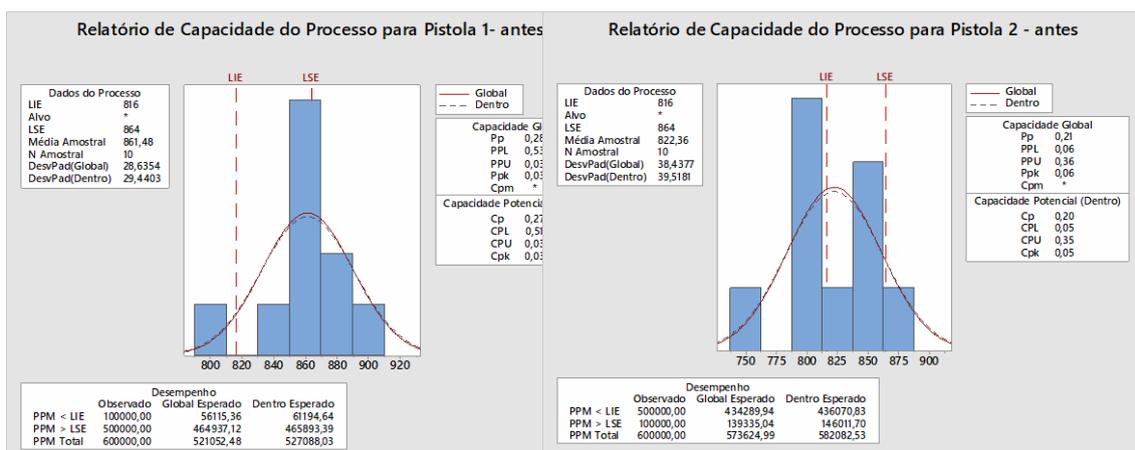
Fonte: o autor

A fim de medir a variabilidade nas pressões das pistolas, foi realizada a verificação no painel mostrador de pressões, onde foram coletados os valores apresentados no gráfico 5:

Os gráficos representam as pressões das pistolas 1 e 2 de todas as máquinas do

processo antes da melhoria, com seus respectivos limites de controle de processo. Como resultado se obteve Cp menor do que 1, em ambas as pistolas, e de acordo com conceitos apresentados no referencial teórico no capítulo 2.5.6, significa que o processo não é capaz de atender as especificações, ou neste caso, os limites de controle do processo.

Gráfico 5: Pressões das pistolas



Fonte: o autor

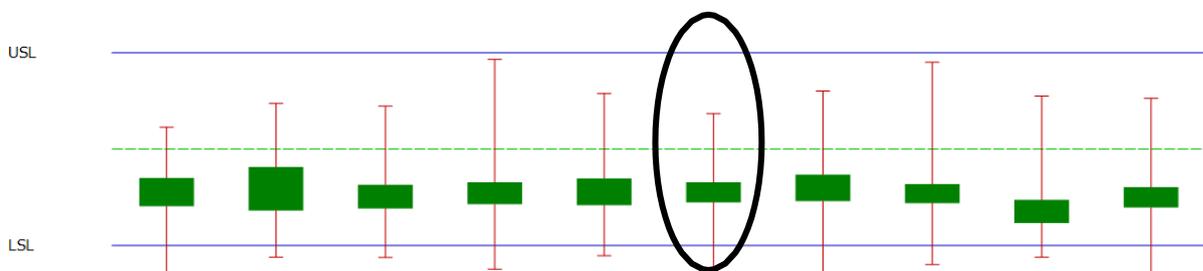
Quanto ao gabarito de ajuste, analisou-se que seria necessário a fabricação de um novo dispositivo para as máquinas. Então, iniciou-se um processo de estudos de como seria feito esse novo gabarito, que envolveu a criação de vários desenhos com sugestões de como deveria ser realizado. Com isso conclui-se que algumas causas raízes são consequências de outros fatores inerentes ao processo, ou seja, estão interligadas. Como no caso dos problemas com ajuste, que estão ligados ao dispositivo utilizado pela empresa.

variabilidade do processo é alta, nenhuma redução pode ser aplicada enquanto a variabilidade não for mitigada, pois corre-se o risco de realizar a redução do consumo em uma máquina que já possui valores reduzidos, devido a sua oscilação, cometendo assim um erro que causará problemas no processo. Considerando-se que os testes de distribuição de verniz interno estão sendo utilizados para medir a variabilidade do processo, foram coletados dados de um mês de produção para a verificação de qual máquina estava mais estável, o que pode ser verificado no gráfico 6.

Box-Plot

O objetivo inicial do projeto é a redução de consumo de verniz, mas como a

Gráfico 6: Box Plot do teste de distribuição



Fonte: Banco de dados da empresa

Analisando o gráfico, chega-se à conclusão de que a máquina com menor variabilidade é a de número 6. E como o Box-Plot não apresenta outliers não foi necessário realizar nenhuma modificação nos dados.

Improve

Na fase *Improve* as melhorias foram implantadas nas causas raízes encontradas na fase *Analyse*, que quanto aos dados qualitativos foram: os problemas detectados pelo Diagrama de Ishikawa e a análise de 5 por ques. Quanto aos dados quantitativos, foram gerados gráficos juntamente com análises de performance do processo para comprovação da alta variabilidade e alto consumo. A proposta para a redução

de consumo também será apresentada neste capítulo.

Plano de ação

Foi elaborado um plano de ação utilizando a ferramenta 5W2H para estruturar as ações a serem tomadas no projeto. “O 5W2H tem o objetivo de definir, para a estratégia de ação elaborada, os seguintes itens: o que será feito (What); quando será feito (When); quem fará (Who); onde será feito (Where); por que será feito (Why); como será feito (How) e quanto custará o que será feito (How much)” (Werkema, 2004). O custo (How Much) será desconsiderado no plano de ação, o que o torna uma variação da ferramenta podendo ser chamado de 5W1H.

Quadro 3: Plano de Ação 5W1H

O que	Como	Quem	Quando (duração)	Onde	Por que
Pressões fora dos limites de controle de processo.	Calibrando o sistema de medição de pressão para dentro dos parâmetros.	Técnico de produção	1 dia	Setor de aplicação de verniz interno	Para reduzir a variabilidade no processo de aplicação de verniz interno
Gabarito de ajuste inadequado	criação de um novo gabarito	Manutenção	2 semanas	Setor de aplicação de verniz interno	Para reduzir a variabilidade no processo de aplicação de verniz interno

Fonte: o autor



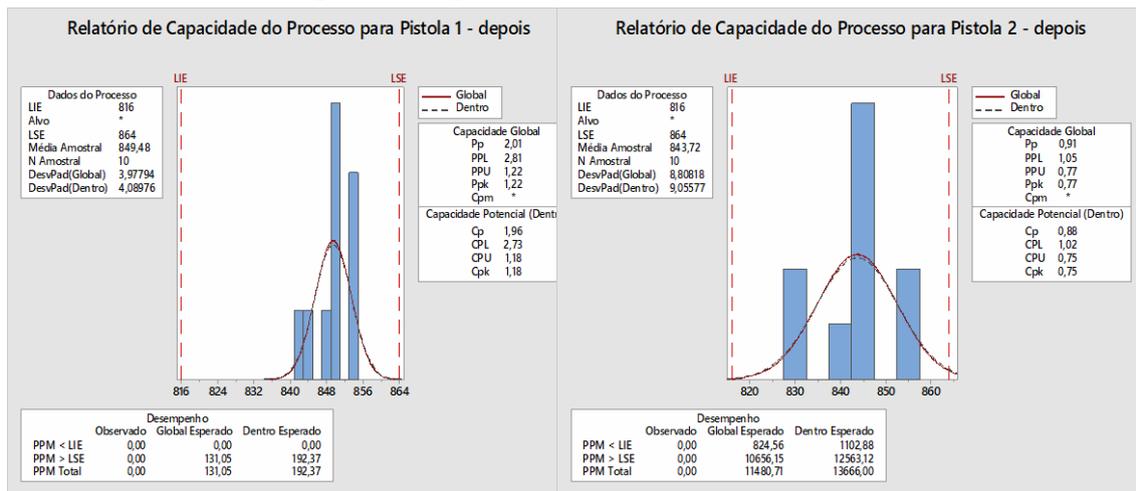


Pressão das pistolas

O propósito principal deste projeto é a redução do consumo de verniz interno, mas devido à alta variabilidade de processo detectada nas etapas anteriores, foi necessário primeiramente realizar um trabalho para a redução da variabilidade, devido ao fato de que este processo é um Ponto Crítico de Controle (PCC) dentro da fábrica. Com a variabilidade reduzida a proposta de redução do consumo poderá ser aplicada de forma segura, sem que haja problemas na qualidade final do produto.

Para sanar o problema de variabilidade na pressão, foi realizado ajuste no sistema de medição de pressão. Então, para melhorar esta parte do processo, foi solicitado aos técnicos de produção responsáveis pela máquina que, ajustassem todas as pressões das duas pistolas de todas as máquinas, entre o range permitido pelo padrão, e o resultado foi gerado pelo software Minitab:

Gráfico 7: Pressões das pistolas depois da melhoria



Fonte: o autor

De acordo com os dados de performance do processo, é possível verificar que nas pressões das pistolas 1 o resultado foi de 0,03 para 1,22 e nas pistolas 2 foi de 0,06 para 0,77, apesar de não ter tido tanta melhora nas pistolas 2 as pressões ficaram dentro dos parâmetros estabelecidos. O gráfico de capacidade

para as pistolas 1 apresentam um processo capaz de atender as especificações, já as melhorias realizadas na pistola 2 não foram suficientes para que o processo se tornasse capaz de atender as especificações, obtendo-se um índice Cp de apenas 0,88, o que significa que deve



ser realizado mais um ajuste para redução da variabilidade.

Gabarito de ajuste das máquinas

O segundo ponto apresentado na etapa de análise foi a divergência de ajuste entre as máquinas de aplicação de verniz interno, que é causada pelo gabarito de ajuste, pois este não possui os componentes necessários para que o setup da máquina seja realizado de forma adequada. Os técnicos precisavam utilizar um paquímetro durante os ajustes das máquinas, o que acabava aumentando ainda mais a variação.

Para sanar este problema iniciou-se um processo de criação de um novo gabarito para ajuste das máquinas de aplicação de verniz interno, que contou com as seguintes etapas:

- Definição do escopo do projeto;
- Aprovação do dispositivo segundo as características construtivas da máquina;
- Realizar desenho do dispositivo em um Software;
- Mobilização da equipe de Manutenção para usinar o dispositivo de ajuste conforme projetado;
- Verificar concordância entre projeto e executado;

- Aprovar peças e sugerir ajustes.

Cada uma dessas etapas possuía um responsável e um tempo determinado para a execução de sua atividade, controlados pela autora do estudo de caso e o gerente de manutenção. A definição do escopo do projeto foi realizada através de desenhos feitos com base nas necessidades que o dispositivo possuía, que eram: ajuste entre a boca da lata e o bico aplicador, ajuste do ângulo do bico, ajuste do ângulo da pistola, altura da pistola, e centralização do bico. E quanto ao restante das atividades propostas foram realizadas pela equipe de manutenção.

Após a fabricação do dispositivo, o próximo passo sugerido foi que se fizesse a escolha da máquina que estivesse operando com menor desempenho nos testes de distribuição de verniz interno. Essa escolha foi feita no capítulo 4.4.2, e essa máquina foi escolhida como referência de ajuste para as demais. Mas antes de realizar a aplicação desse projeto em todas as máquinas, a sugestão deixada foi que, se testasse o gabarito na máquina com pior desempenho, utilizando o mesmo critério para a escolha da melhor máquina, que conforme Box-plot e dados de performance de processo apresentado no capítulo 4.4.2 foi a máquina de número 9.





Após o teste do gabarito nesta máquina, seriam realizados testes de qualificação da máquina, e acompanhamento dos testes de distribuição do verniz durante uma semana, e também a realização dos mapas de distribuição dessa máquina, a fim de constatar se o projeto do gabarito foi eficaz na redução da variabilidade.

Esse dispositivo tem como finalidade ajustar todas as medidas que influenciam diretamente na variabilidade de processo, e na qualidade do produto final, tais como: ângulo do bico, ângulo da pistola e distância entre a boca da lata e bico aplicador, além de auxiliar no *setup* das máquinas, que é realizado apenas uma vez.

Proposta para redução de consumo

Para resolução do problema de consumo de verniz elevado, foi elaborada uma proposta para redução. Com base em um estudo interno de determinado fornecedor, concluiu-se que uma forma viável e segura para isso era a redução da pressão das pistolas das máquinas. Então, o Saving dessa proposta foi baseada na taxa de vazão dos bicos aplicadores, levando em consideração que a vazão tem relação direta com a pressão.

Devido a confidencialidade dos dados, a proposta de redução será dada apenas em porcentagem. A proposta é a redução de 14,28% da pressão das pistolas, mas o cálculo de redução foi baseado na taxa de vazão dos bicos aplicadores.

Tabela 4: Proposta de redução

Aplicação de Verniz Interno			
Pistola	Vazão a pressão x	Vazão a pressão y	Redução (%)
1	0,5	0,4661	6,7800
2	0,9	0,83898	6,7800

Fonte: o autor

Para a confirmação de que esta proposta funciona e é segura para o processo, foi necessário que todos os testes de qualificação da máquina fossem feitos, teste de distribuição, além do teste de peso do verniz, que comprova a redução efetiva da proposta. Para a aplicação

desta proposta utilizou-se a máquina que possuía a melhor performance de processo, ou seja, a com o maior índice de ppk, visto no capítulo 4.4.2.

O passo seguinte foi mostrar a proposta ao gerente de planta e gerente de produção para que a mesma pudesse ser



testada. Após a aprovação, foi solicitado a um dos técnicos responsáveis pela máquina que abaixasse a pressão das pistolas para a pressão sugerida.

Após a mudança das pressões das pistolas, a máquina começou a rodar com o parâmetro sugerido, mas apenas durante o tempo necessário para a realização da coleta da quantidade de latas necessárias para a realização dos testes de qualificação. Após passar pelo processo de aplicação do verniz interno e cura, as latas foram coletadas na saída do forno para a realização dos testes de qualificação.

Para obtenção de uma amostra estatística confiável, foram coletadas 25 latas para cada teste, que são: distribuição do

verniz interno, metal exposto, teste de aceleração da corrosão e peso do verniz. Os resultados obtidos serão apresentados a seguir.

Resultado dos testes de distribuição

Primeiramente foi realizado um teste de normalidade dos dados, e como resultado pode-se observar que os dados de Top, Middle e Bottom não apresentam distribuição normal, apenas os valores do Dome obtiveram apresentaram distribuição normal, pois os valores P estavam abaixo de 0,05, que é o critério utilizado para saber se os dados possuem ou não distribuição normal.

Tabela 5: Normalidade dos dados

Top	Middle	Bottom	Dome
Média 194,7 DesvPad 14,38 N 100 AD 0,803 Valor-P 0,036	Média 238,7 DesvPad 15,74 N 100 AD 0,937 Valor-P 0,017	Média 227,2 DesvPad 18,22 N 100 AD 1,136 Valor-P 0,005	Média 282,3 DesvPad 17,86 N 25 AD 0,285 Valor-P 0,598

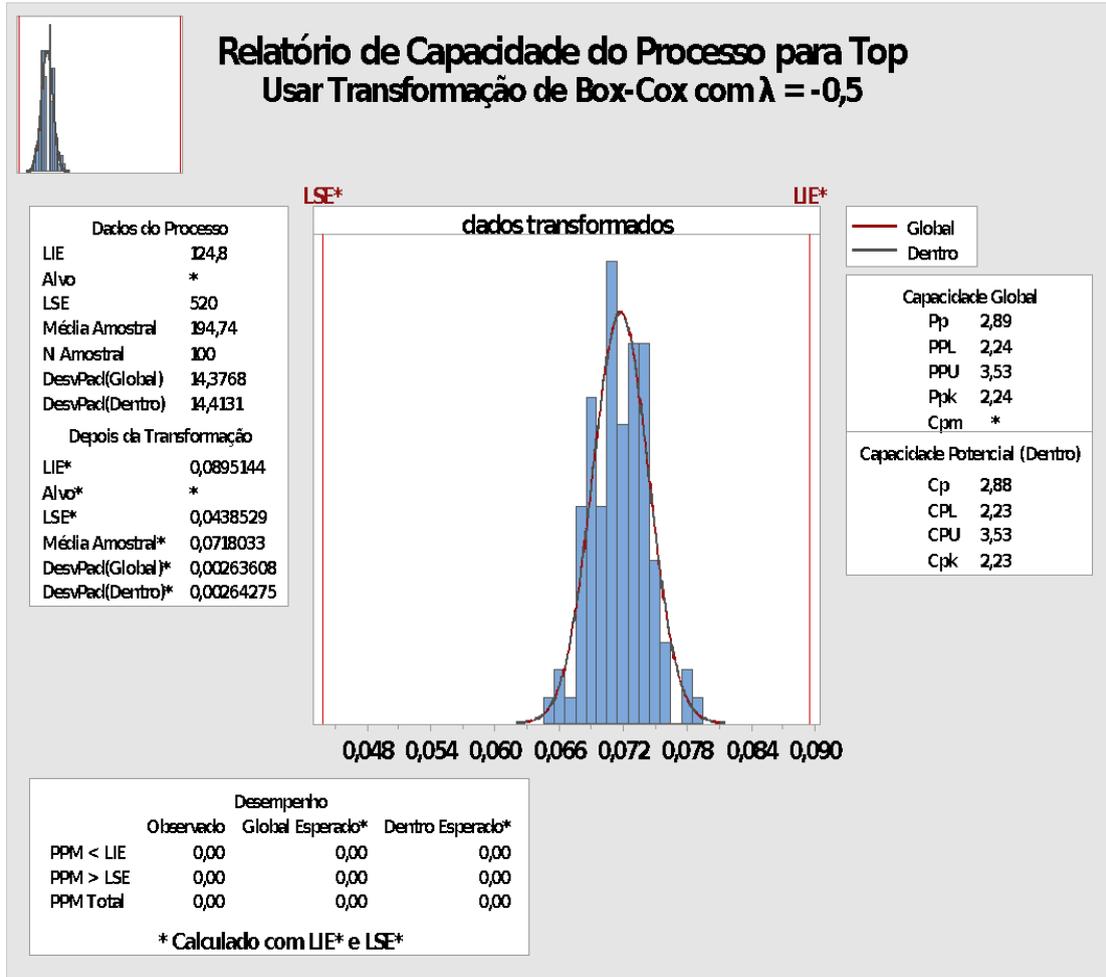
Fonte: o autor

Como parte dos dados não apresentou distribuição normal, foi necessário buscar qual o tipo de distribuição se adequa a eles. Isso pode ser feito utilizando a ferramenta “Identificação de Distribuição Individual” do Minitab. Então obteve-se, através do maior

número de valor P, que seria possível realizar a transformação de Box Cox para normalização dos dados para cada área da lata. Com a realização da normalização dos dados, foi possível gerar os gráficos de capacidade do processo:

Gráfico 8: Relatório de capacidade do processo para Top





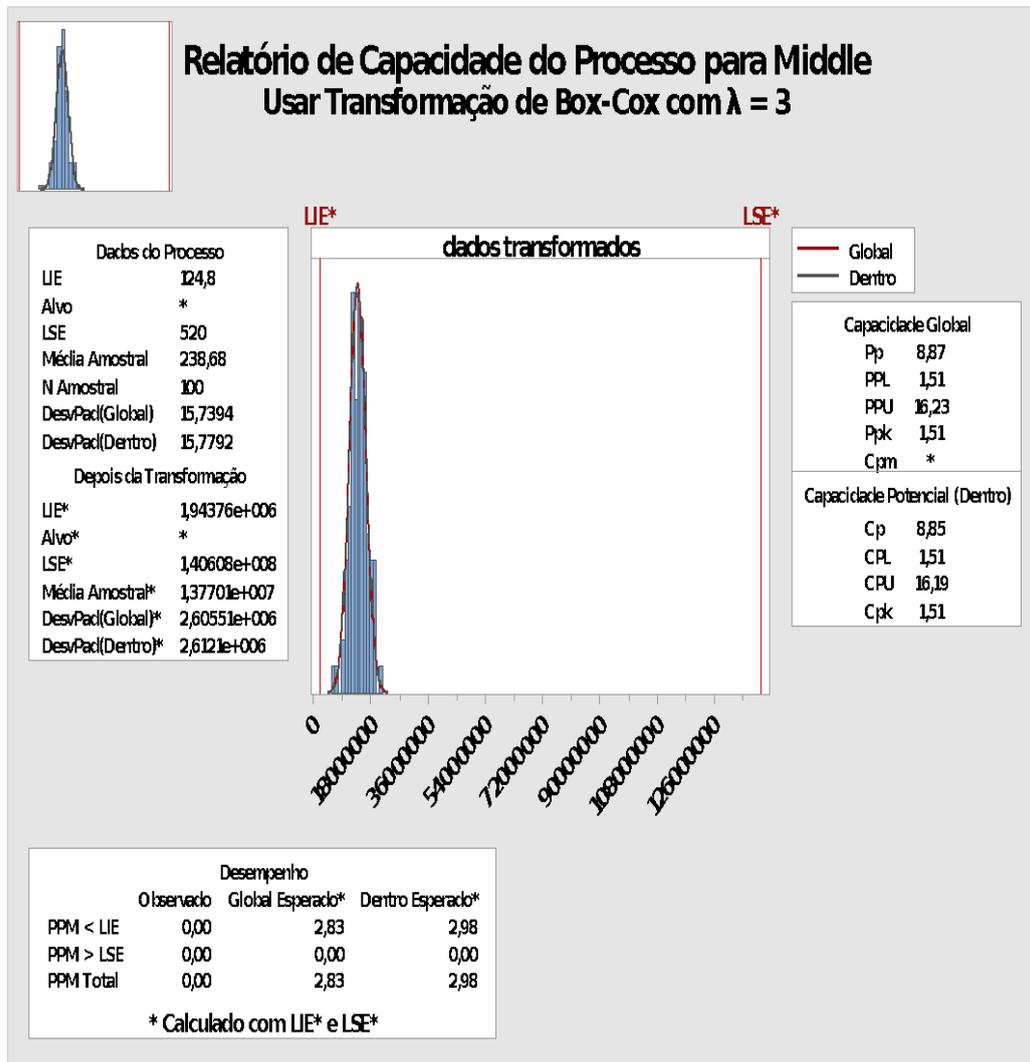
Fonte: o autor

Considerando que não há dados fora dos limites de controle, ou seja, causas especiais, serão adotados os índices Cp e Cpk para análise. Com os resultados obtidos comprova-se que o processo é capaz de atender a especificação, pois

possui $C_p > 1,33$, mostrando que não há necessidade da realização de trabalho para a redução da variabilidade do processo, e $\sigma = 8,64$.

Gráfico 9: Relatório de capacidade do processo para Middle



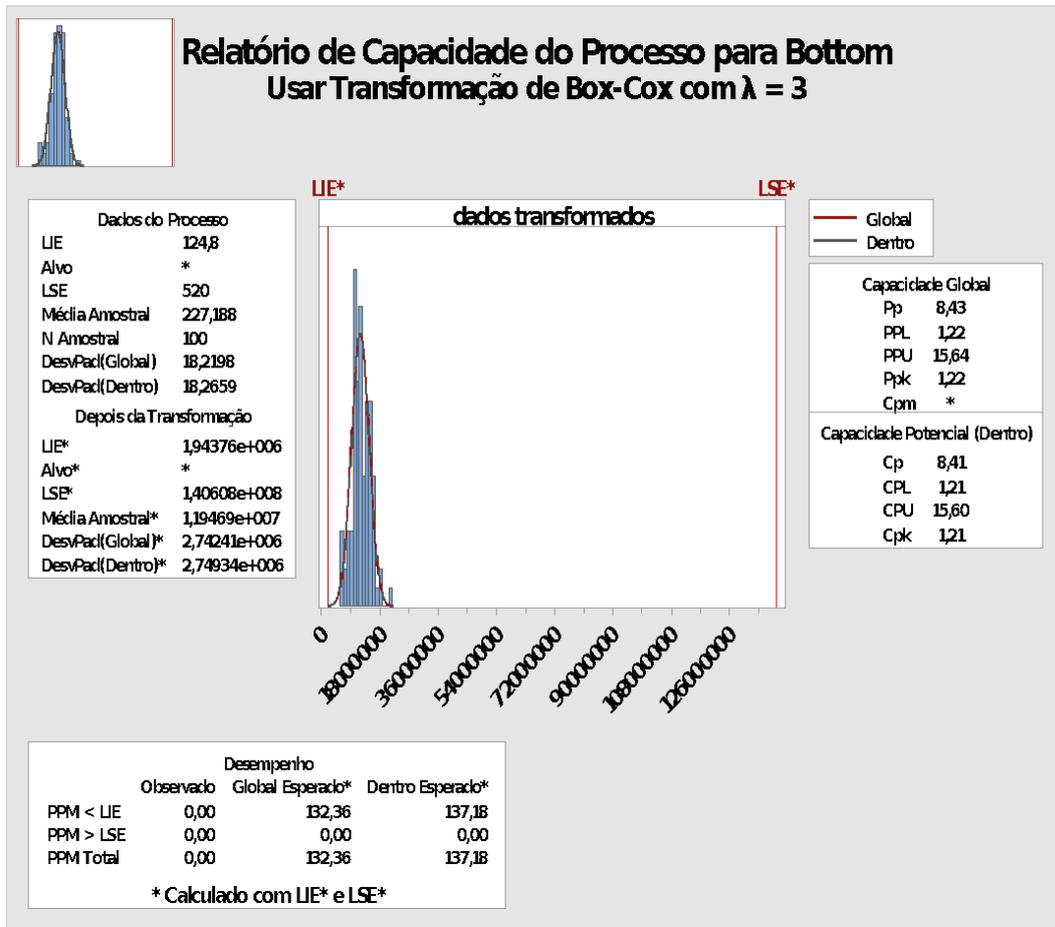


Fonte: o autor

Nos dados coletados no Middle, ou seja, dados de distribuição no meio da lata, observa-se que $C_p > 1,33$ e $\sigma = 4,53$.



Gráfico 10: Relatório de capacidade do processo para Bottom

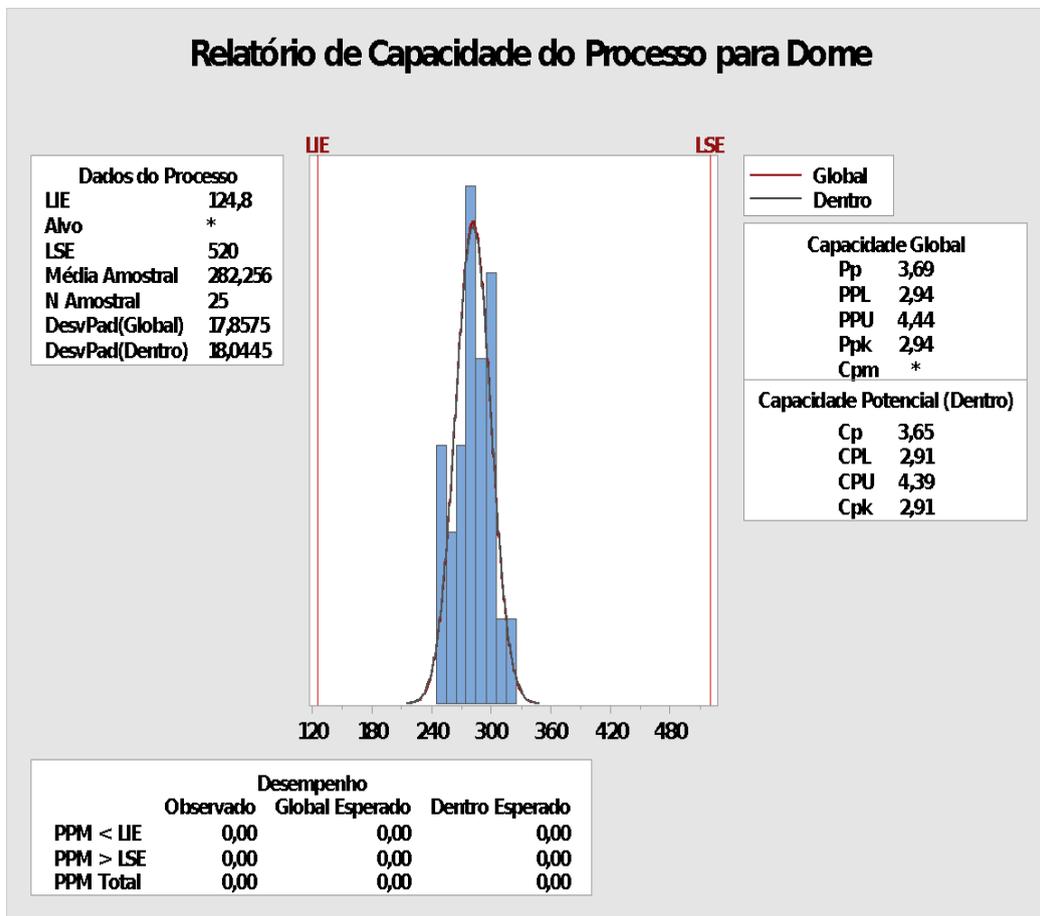


Fonte: o autor

Nos dados da área Bottom da lata obteve-se $\sigma = 3,63$. Apesar de ter apresentado σ mais baixo, esse processo não necessita de trabalho para redução de variabilidade devido ao seu valor de C_p ser maior do que 1,33.



Gráfico 11: Relatório de capacidade do processo para Dome



Fonte: o autor



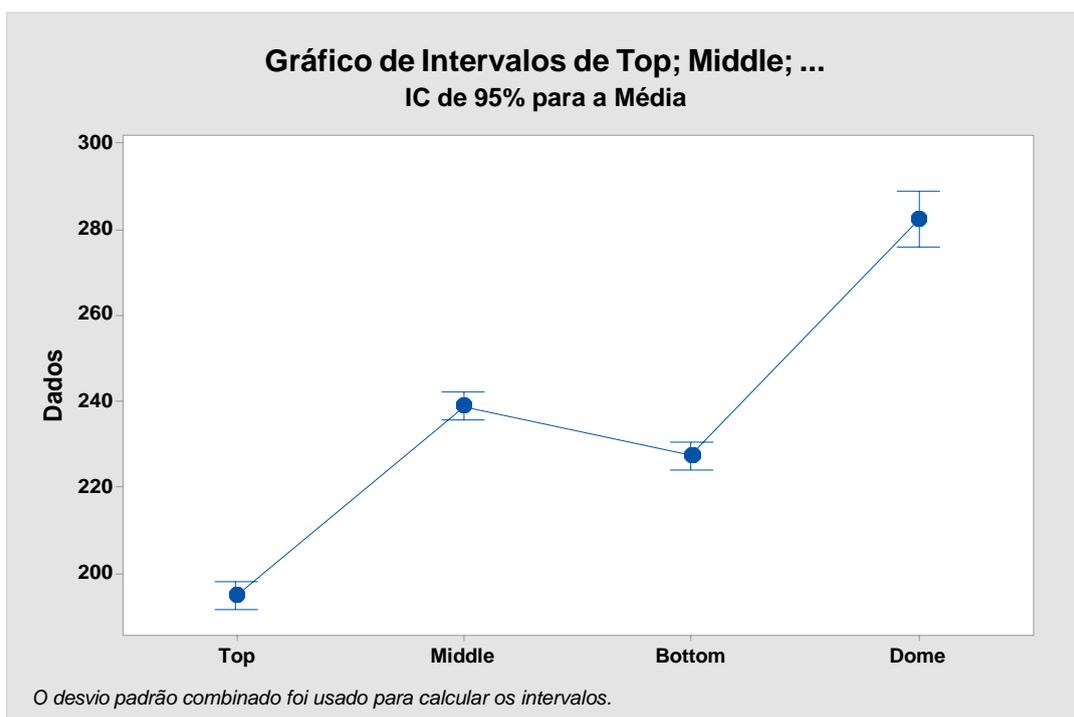
E a área Dome, que representa a parte de baixo da lata apresentou $\sigma = 8,73$, e $C_p > 1,33$, não necessitando de nenhuma intervenção para a redução de variabilidade.

Com os dados obtidos no teste de distribuição, foi necessário realizar uma análise de variância para verificar onde estão as diferenças entre as 4 áreas da lata. Para isso, tem-se duas hipóteses:

Hipótese nula: todas as médias entre cada área da lata são iguais

Hipótese alternativa: há diferença entre as médias

Gráfico 12: Análise gráfica de Variância



Fonte: o autor

Com esses resultados é possível verificar de forma visual que existem diferenças

entre as áreas da lata. Isso acontece devido ao fato de que esse processo é realizado por duas pistolas, uma





GESTÃO DA PRODUÇÃO EM FOCO

LEAN SIX SIGMA

simétrica e outra assimétrica. Mas para obtenção de uma análise mais objetiva foram analisados os dados numéricos da

análise de variância, com a validação de uma das hipóteses.

Tabela 6: Análise de variância





ANOVA com um fator: Top; Middle; Bottom; Dome

Método

Hipótese nula	Todas as médias são iguais
Hipótese alternativa	Nem todas as médias são iguais
Nível de significância	$\alpha = 0,05$

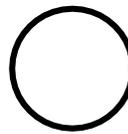
Assumiu-se igualdade de variâncias para a análise

Informações dos Fatores

Fator	Níveis	Valores
Fator	4	Top; Middle; Bottom; Dome

Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Fator	3	192716	64238,6	241,16	0,000
Erro	321	85505	266,4		
Total	324	278221			



Sumário do Modelo

S	R2	R2(aj)	R2(pred)
16,3209	69,27%	68,98%	68,46%

Médias

Fator	N	Média	DesvPad	IC de 95%
Top	100	194,74	14,38	(191,53; 197,95)
Middle	100	238,68	15,74	(235,47; 241,89)
Bottom	100	227,19	18,22	(223,98; 230,40)
Dome	25	282,26	17,86	(275,83; 288,68)

DesvPad Combinado = 16,3209

Gráfico de Intervalos de Top; Middle; ...

Fonte: o autor

Analisando o valor P, foi possível concluir que a hipótese nula deve ser rejeitada, e aceita-se a hipótese alternativa, concluindo que os resultados entre as áreas da lata são significativamente diferentes. Este possui um valor baixo devido a diferença

apresentada no gráfico entre os pontos no domo e no topo da lata. Que não é necessariamente um resultado ruim, pois era esperado devido a forma como o processo é realizado.





Resultado dos testes de peso

O passo seguinte foi analisar qual a melhoria obtida nos testes de peso, e calcular qual foi o ganho efetivo com a proposta sugerida. Para a realização dos gráficos de Capacidade do processo, foi necessário verificar a normalidade dos dados. Os dados do teste de peso apresentaram valor P inferior a 0,05, ou

seja, não possui distribuição normal, com isso foi utilizada a ferramenta “Identificação de Distribuição Individual” do Minitab para verificar em qual distribuição esses dados se adequam:

Tabela 7: Tabela de identificação de distribuição individual

Teste de Qualidade de Ajuste

Distribuição	AD	P	TRV P
Normal	1,034	0,008	
Transformação de Box-Cox	0,909	0,017	
Lognormal	1,012	0,009	
Lognormal de 3 Parâmetros	0,373	*	0,000
Exponencial	10,852	<0,003	
Exponencial de 2 Parâmetros	0,250	>0,250	0,000
Weibull	2,031	<0,010	
Weibull de 3 Parâmetros	0,233	>0,500	0,000
Menor Valor Extremo	2,064	<0,010	
Maior Valor Extremo	0,451	>0,250	
Gama	1,014	0,012	
Gama de 3 Parâmetros	0,240	*	0,000
Logística	0,678	0,044	
Loglogística	0,668	0,046	
Loglogística de 3 Parâmetros	0,447	*	0,002
Transformação de Johnson	0,265	0,664	

Fonte: o autor

Através do maior valor P obtido na tabela de identificação de distribuição individual, foi possível verificar que

seria possível realizar a normalização dos dados através da transformação de Johnson. Então, no momento em que o relatório de capacidade do processo para

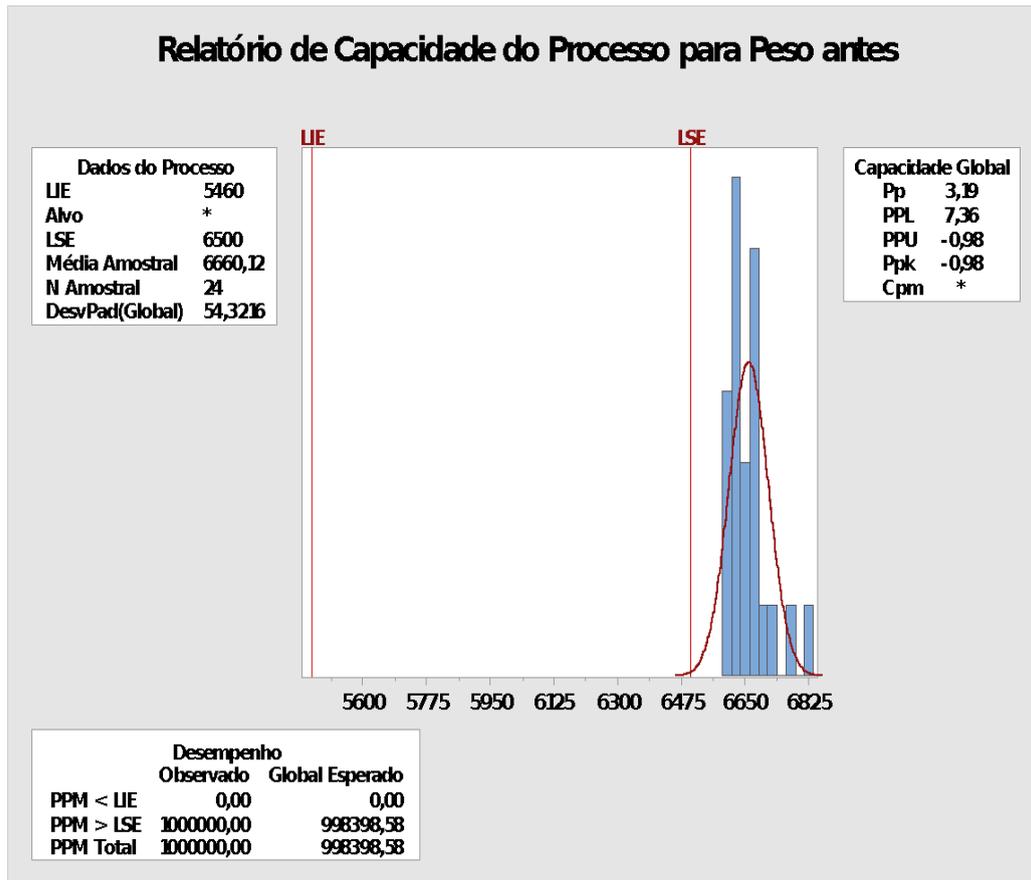




os dados de peso antes da aplicação da proposta de redução fosse gerado, foi levado em conta que os dados precisavam ser transformados, mas esse

processo é realizado de forma automática pelo Minitab, apenas por meio do novo valor P gerado pela transformação.

Gráfico 13: Peso antes da aplicação da proposta de redução



Fonte: o autor

A análise de capacidade mostrou ppk negativo, o que significa que os dados estão fora do limite de controle, e neste caso conforme o gráfico, estão acima do limite, ou seja, se tratava de um processo com causa especial. Com todos estes dados pode-se confirmar que o alto

consumo de verniz, pois todos os dados coletados estão acima dos limites superiores de controle de processo. A consequência disso não afeta o cliente, mas acarreta em custos mais altos de produção, relacionados a insumo.

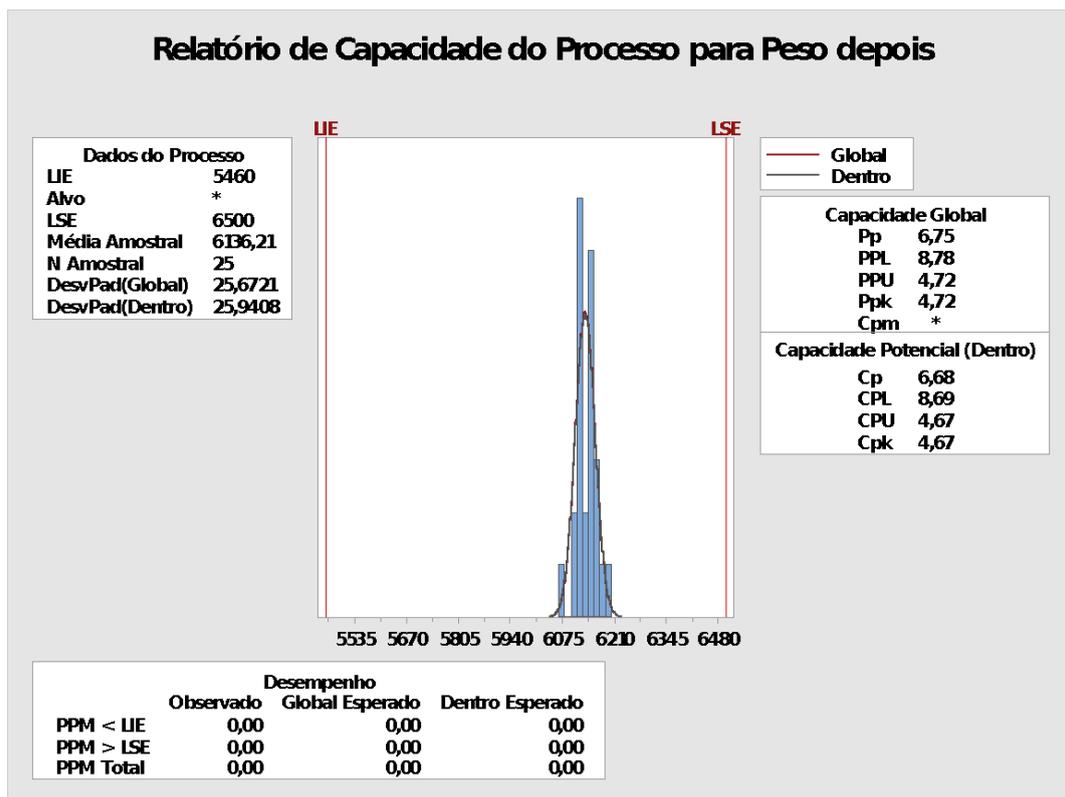




Após a aplicação da proposta de redução, com as amostras coletadas para os testes de peso, seguiu-se o mesmo processo de análise dos dados de peso antes da proposta. Com os dados obtidos, foi realizado o teste de normalidade, que obteve resultado superior a 0,05. Com

isso, foi gerado o relatório de capacidade do processo, para dados normais.

Gráfico 14: Relatório de capacidade do peso antes da aplicação da proposta



Fonte: o autor





GESTÃO DA PRODUÇÃO EM FOCO

LEAN SIX SIGMA

Os resultados apresentaram Cp acima de 1,33, o que significa que o processo é capaz de atender as especificações, ou neste caso, capaz de atender ao processo, sem a necessidade de realização de um trabalho para redução de variabilidade.

Além disso, obteve-se resultado com sigma de 14,01. Realizando um comparativo entre a média dos resultados de peso antes da aplicação da proposta e a média dos dados de peso da aplicação da proposta, foi percebido que se obteve redução de 8,14%.

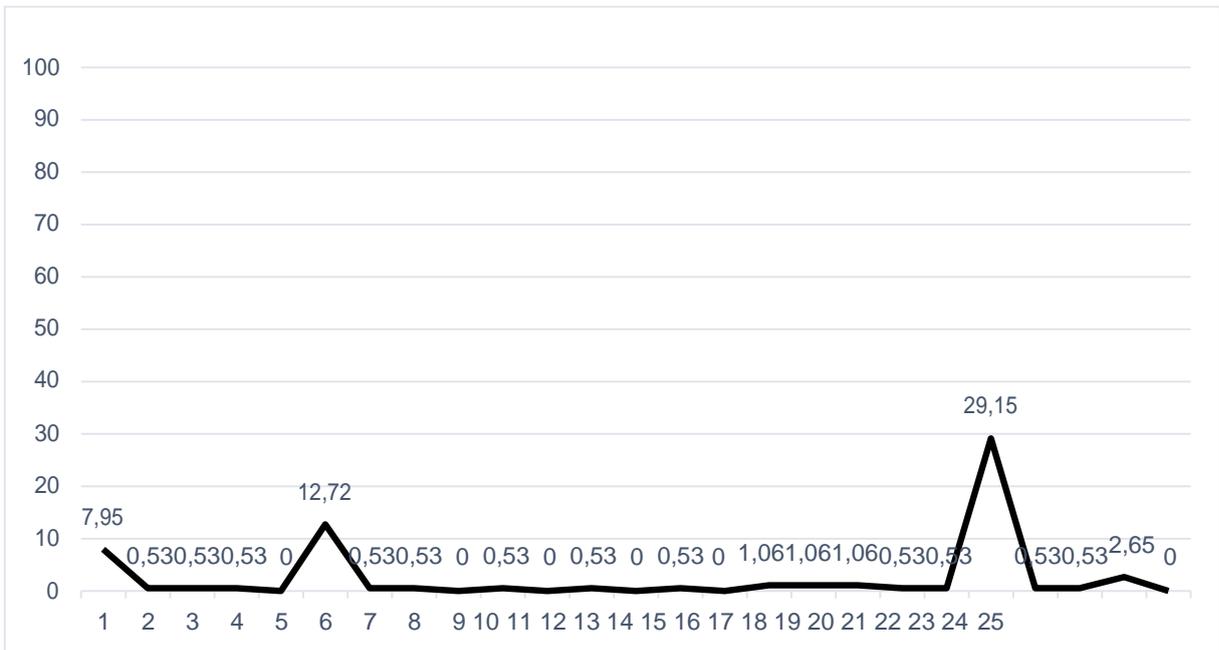
Testes de qualificação

Os testes de metal exposto e aceleração de corrosão outro realizado com sulfato de cobre, que acelera o processo de

corrosão da lata, o que garante maior confiabilidade para a proposta, pois são testes que garantem a qualidade final da lata.

Gráfico 15: Teste de metal exposto





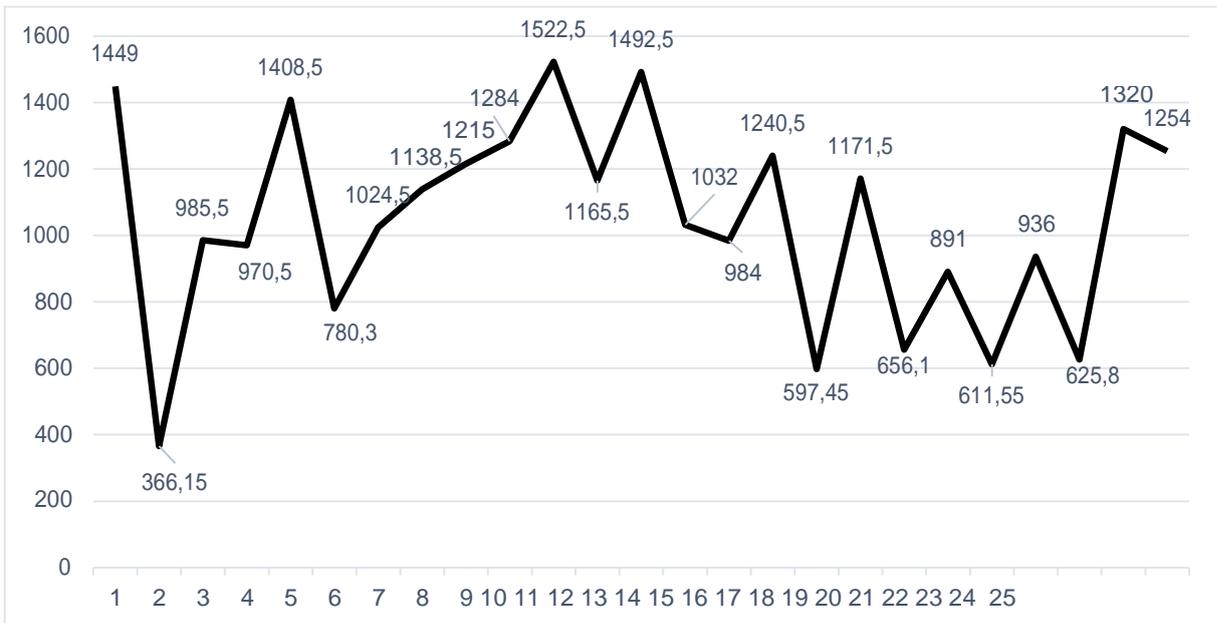
Fonte: o autor

Para que este teste seja aprovado o valor máximo deve ser de 106, e como apresentado na tabela todos os valores

ficaram bem afastados do limite superior. No teste de metal exposto quanto mais próximo de zero os valores estiverem melhor será.

Gráfico 16: Teste de aceleração da corrosão





Fonte: o autor

Para que o teste de aceleração de corrosão seja aprovado devem ser considerados os maiores resultados, ou seja, os mais críticos, sendo que o limite é de 1500. Considerando que não houveram resultados superiores a este fica comprovada a segurança da aplicação da proposta de redução.

Control

Nesta fase, é necessário criar formas de manter as melhorias obtidas na fase *Improve*, através de documentos como procedimentos operacionais padrão.

Procedimentos operacionais

A fim de controlar as melhorias obtidas, e viabilizar as melhorias propostas foram criados alguns procedimentos

operacionais padrão, um gabarito de ajuste para as máquinas e um diário de bordo. O primeiro procedimento criado foi o de limpeza periódica dos bicos aplicadores das máquinas, a fim de garantir uma boa aplicação de verniz, evitando obstrução do bico e conseqüentemente problemas com pontos baixos de distribuição, ou seja, abaixo dos parâmetros, e também problemas com metal exposto.

O segundo procedimento criado foi o de limpeza dos filtros das máquinas, que podem causar problemas comprometimento da passagem de verniz do sistema para as pistolas caso apresentem alguma sujidade.

E o último procedimento criado foi o de calibração do sistema de medição de pressão, para garantir que a melhoria





realizada nas pressões das pistolas fosse mantida, além de garantir também a aplicação da proposta de redução do consumo do verniz. Todos os técnicos responsáveis pela máquina receberam essa orientação, e estavam cientes da forma pela qual deveriam proceder, além dos supervisores de turno, que são responsáveis por verificar se os procedimentos estão sendo seguidos.

O gabarito de ajuste criado é uma forma de controle, pois funciona como um poka-yoke, ou seja, a prova de erros humanos, pois, uma vez que o setup das máquinas é realizado não há necessidade e nem é recomendado que se faça alterações, essa orientação foi passada em um treinamento que os técnicos tiveram anteriormente, o que reforça a necessidade do seguimento das orientações já passadas.

Esse dispositivo pode e deve ser considerado como uma ação para estabilizar o processo, isso se não houver problemas na execução dos ajustes, mas se ocorrer será necessário a realização de ajustes para que o mesmo se adeque as máquinas.

Como a redução do Overspray não era foco do projeto, foi solicitado que fosse criado um diário de bordo que relatasse os desperdícios por turno, apenas para controle.

Conclusão

Avaliando criticamente os resultados, foi possível concluir que o presente estudo de caso atingiu seu objetivo primordial que é a aplicação de uma metodologia utilizada na Engenharia de Produção, neste caso o DMAIC, que se mostrou bastante eficaz para o delineamento e estruturação do projeto.

Foi deixado como sugestão para a empresa o uso do novo dispositivo de ajuste das máquinas de verniz interno para redução de variabilidade, pois neste processo é ideal que as máquinas estejam operando com todos os parâmetros o mais semelhante possível uma das outras, e só assim a proposta para a redução de consumo poderá ser implementada de maneira segura.

A máquina de menor variabilidade foi escolhida justamente por causa da segurança em que se tem para a realização de redução do consumo, e que servisse como padrão de ajuste para as outras máquinas.

A medição do *Overspray* foi realizada para verificar a quantidade de verniz desperdiçada na segurança de aplicação. Não foi feito nenhum trabalho para reduzir esse desperdício, mas se a proposta de redução for aplicada haverá redução nisto também, não em porcentagem, mas em quantidade.





Como sugestão para estudos futuros pode ser analisada a possibilidade de utilização de outros bicos aplicadores com especificações diferentes de vazão e tipos de leque.





Referências

ANDRADE, M. A.; VIEIRA, J. R. M.; CUNHA, L. M. da S.. **Latas para cervejas e refrigerantes: o desafio alumínio x aço.** Disponível em: Biblioteca virtual do BNDES, 2010.

ASKELAND, D. R.; WRIGHT, W. J. **Ciência e Engenharia dos Materiais.** 2.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014. P.451; 596.

ABRALATAS. Disponível em: <<http://www.abralatas.org.br/brasil-reciclou-280-mil-toneladas-de-latas-de-aluminio-em-2016-e-mantem-indice-proximo-a-100/>> acesso em 10/09/2018.

BNDES. **BNDES Setorial.** Disponível em: Biblioteca virtual do BNDES, 1998.

CEMPRE. **CEMPRE REVIEW 2015:** um panorama reciclagem no brasil. <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/artigos>> acesso em: 10/09/2018 às 15:54.

EHIE, I., SHEU, J.. **Integrating Six Sigma and Theory of Constraints for continuous improvement: a case study.** Manhattan, 2005. Disponível em: Journal of Manufacturing Technology Management.

FILHO, R. C. B. L. **Controle estatístico de qualidade.** 1 ed. Rio de Janeiro: Ao livro técnico S.A., 1964. p.11;29

FORNARI. **Brazilian Journal of materials Science and engineering: review of materials.** Universidade Luterana do Brasil. Canoas, 1998. Disponível em: ILES/ULBRA.

FORNARI. C.C. M. J. **Aplicação da Ferramenta da Qualidade (Diagrama de Ishikawa) e do PDCA no Desenvolvimento de Pesquisa para a reutilização dos Resíduos Sólidos de Coco Verde.** 2010. Disponível em: Ingepro. Acesso em: 03 nov. às 00:13.

FREEPIK. 3d renderizado lata de refrigerante. <<https://br.freepik.com/fotos-vetores-gratis/lata-de-refrigerante>> Acesso em: 22/05/2019 às 11:44.

FROTA, A. C. **Qual a diferença entre PCC, PPRO e PPR?** Food Safety Brasil, 2013. Disponível em: <<https://foodsafetybrazil.org/qual-a-diferenca-entre-pcc-ppro-e-ppr/>> Acesso em: 22/05/2019 às 10:00.

GENTIL, V. **Corrosão.** Rio de Janeiro: LTC, 2012. p. 1-2; 70;273;258

GROOVER, M. P. **Introdução aos Processos de Fabricação.** 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. p. 25.

JORGE, N. **Embalagens para alimentos.** São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2013





<http://www.santoandre.sp.gov.br/pesquisa/ebooks/360234.PDF>> Acesso em: 02. nov. 2018 às 22:50.

HOSFORD, W. F.; DUNCAN, J. L. **The Aluminium Beverage Can**. Scientific American, 1994.

LINS, B. F. E. **Ferramentas básicas da qualidade**. Revista IBICT: Brasília, 1993.

MARTINS, J. **Redução do Retrabalho Causado por Má Aplicação de Verniz Interno em Embalagens Metálicas**. Ponta Grossa, 2017.

MIAL, A. et al. **Footwear Industry in Bangladesh: Implementation of Six Sigma Methodology**. Bangladesh, 2017.

MONTGOMERY, D. **Introduction to Statistical Quality Control**. 6 ed. Nova Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2009.

SCHEWARS, et.al. **PLANO APPCC (ANÁLISE DE PERIGOS E PONTOS CRÍTICOS DE CONTROLE)**. Paraná, 2016. Acesso em: 02 nov. 2018 às 20:00.

SILVA, L. S. C. V. **Aplicação do Controle Estatístico de Processos na Indústria de Laticínios Lactoplasa: um estudo de caso**. Florianópolis, 1999. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/80467/151811.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Universidade

Federal de Santa Catarina, 1999. Acesso em: 23 out.

SOARES, B. M. C. **Estudo da resistência à corrosão de ligas de alumínio para embalagem de bebidas carbonatadas**. Campinas, 2013.

SOARES, B. M. C. **Latas de alumínio e sua interação com alimentos e bebidas**. Acesso em: 22/08/2018 às 19:07.

SOARES, G. M. V. P. P. **Aplicação do controle estatístico de processos em indústria de bebidas: um estudo de caso**. ,2001. Disponível em: <<file:///D:/User/Downloads/187898.pdf> > Acesso em: 23.out. 2018 às 20:40.

SOUZA. PINTO. OLIVEIRA. **Concorrência entre embalagens de aço e alumínio: uma análise de mercado no segmento de bebidas carbonatadas**. Revista Brasileira de Gestão e Engenharia: São Gotardo, 2010.

RAMANATHAN, L. V. **Corrosão e seu controle**. HEMUS, p.17. Disponível em: ILES/ULBRA.

RAMOS, E. ALMEIDA, S. ARAÚJO, A. **Controle estatístico de qualidade**. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PEPPER, M. SPEDDING, T. **The evolution of Lean Six Sigma**. Wollongong, 2010. Disponível em: International Journal of Quality & Realiability Management.





REBELATO, Marcelo. RODRIGUES, Andréia. RODRIGUES, Isabel. **Análise das lacunas presentes na Integração da Manufatura Enxuta com a Metodologia Seis Sigma.** Salvador, 2009. Disponível em: Enegep.

SILVA, L.S.C.V. **Aplicação do controle estatístico de processos na indústria de laticínios lactoplasa: um estudo de caso.** Santa Catarina, 1999. Disponível em: Respositório UFSC.

TORMINATO, S. M. **Análise Da Utilização Da Ferramenta CEP: Um Estudo De Caso Na Manufatura De Autopeças.** Campinas, 2004.

GNECCO, C.; MARIANO, F.; FERNANDES, F. **Tratamento de superfície e pintura.** Rio de Janeiro: IBS/SBCA, 2003. Disponível em: <http://mkestruturasmetalicas.com.br/mk-manuais/Manual_Tratamento_Superfície_e_Pintura.pdf> Acesso em: 12/10/2018 às 18:34.

GOLDRATT, E. M. COX, J. **A meta: um processo de melhoria contínua.** São Paulo: Nobel, 3º ed., 2014.

TAICHII, O. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala.** Porto Alegre: Bookman, 1997.

VACCARO, G. L. R.; MARTINS, J.C.; MENEZES, T. M. Análise estatística da qualidade de níveis de tensão em sistemas de distribuição de energia elétrica. Rio Grande do Sul, 2009. **Produção**, v. 21, n. 3, p. 539-552, jul./set. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/prod/2011nahead/aop_t6_0002_0219.pdf> Acesso em: 29 out. 2018 às 18:00.

SILVA, M. M. L. Crimes na era digital. **Net.** Rio de Janeiro, nov. 1998. Seção Ponto de Vista. Disponível em: <http://www.brazilnet.com.br/contexts/brasilrevistas.htm> Acesso em 28 nov.1998.

VALSPAR. **Beverage Container Coatings.** Disponível em: <<https://www.valsparpackaging.com/products/item/beverage-container-coatings/>> Acesso em: 02. nov. 2018 às 23:33.

WERKEMA, Cristina. **Criando a cultura Lean Seis Sigma.** 3 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.



CAPÍTULO III

Implantação da Metodologia DMAIC em uma Indústria de Corte e Dobra de Aço Para a Construção Civil: um Estudo de Caso

Frederico Celestino Barbosa

Lissandra Andréa Tomaszewski

Marcos Mateus dos Santos Silva

RESUMO: Considerando-se a necessidade de se aplicar e aperfeiçoar as ferramentas de qualidade perante os desafios de gestão em empresas, objetivou-se neste trabalho aplicar os conceitos do Seis Sigma como ferramenta de gestão de modo a solucionar problemas de rentabilidade e perda numa indústria de corte e dobra de aço para construção civil. Especificamente, visou-se levantar uma base teórica, desenvolver metodologia adequada para planos de ação na empresa, e finalmente, reafirmar os conceitos da gestão por meio dos resultados. Utilizou-se, para tanto, a metodologia DMAIC, pondo-se em prática sua estrutura teórica. Obteve-se como resultado a identificação dos problemas de gestão e causas-raiz, deste modo, fez-se possível tomar medidas interventoras e consolidar um novo clima organizacional na empresa, otimizando seus processos, resultados de produção e lucratividade. Assim, concluiu-se que a metodologia, se corretamente aplicada, é eficaz quanto às suas propostas e tem relevância no avanço dos conhecimentos sobre gestão da produção.

Palavras-chave: Ferramentas da qualidade, DMAIC, gestão da produção.

1. Introdução

A dinamicidade e globalização do mercado obrigam as empresas a serem cada dia mais competitivas. Diante deste cenário, é necessária uma rigorosa e competente gestão de seus custos operacionais, eficiência e eficácia de seus processos. Eliminar as atividades que não agregam valor e otimizar o uso de seus sistemas produtivos, do ponto de vista quantitativo e qualitativo, torna-se fator essencial para manter-se vivo no mercado. Assim, as empresas tem que adotar novo estilo de gerenciamento com ênfase na qualidade de seus produtos e serviços, de forma a satisfazer as exigências de seus clientes de maneira lucrativa.

Conforme Eckes (2001), uma maneira das empresas se aproximar da excelência está na implantação de sistemas de gestão eficazes e capazes de gerar maior rentabilidade, através da redução dos custos operacionais e dos desperdícios com a otimização dos seus processos, garantindo assim preços competitivos com boa margem de lucro.

A excelência na gestão pode ser tangenciada através da implantação de sistemas de gestão estratégica que permite o alcance das características

supracitadas, necessárias como garantidoras (se bem gerenciadas), da manutenção da competitividade. Dentre os sistemas de gestão, destaca-se a utilização de programa como o *Six Sigma* (Seis Sigma) e o *Lean Manufacturing* (Produção Enxuta).

Dentre as ferramentas da qualidade e metodologias inseridas nestes sistemas de gestão, destaca-se a metodologia DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*), que será devidamente elucidada no decorrer deste trabalho.

Problematiza-se, portanto, qual a eficácia da implantação dos conceitos de produção enxuta vinculados ao programa Seis Sigma, concomitantemente, às ferramentas da qualidade em uma indústria no seguimento de produção de aços longos no polo industrial de Uberlândia – MG, dos anos de 2009 a 2013.

Objetiva-se, então, aplicar os conceitos do Seis Sigma como ferramenta de gestão de modo a solucionar problemas de rentabilidade e perda na empresa, e aperfeiçoar os processos de produção da indústria. Especificamente, objetiva-se realizar um levantamento teórico, organizar um escopo de planos de ação na empresa por meio de uma



metodologia elaborada e, por fim, através dos resultados obtidos, confirmar os conceitos pressupostos nas definições.

Este trabalho justifica-se pela necessidade de se aplicar e aperfeiçoar as atuais ferramentas de qualidade de modo a otimizar a produção das empresas que enfrentam desafios de gestão.

2. Referencial teórico

Qualidade

O termo qualidade foi conceituado por diversos autores, cada um com suas particularidades. Entende-se de Campos (1992) que a qualidade está intrinsecamente relacionada à satisfação e ao bem-estar dos seus clientes, sejam internos ou externos. Dentro da qualidade destaca-se a ênfase ao produto ou serviço, a confiabilidade nos processos, as pessoas envolvidas nos processos e as informações entre os departamentos.

De acordo com Souza (2008), a qualidade total concentra-se no controle do processo produtivo, garantindo a confiabilidade, ausência de defeitos e custos da qualidade. Acrescenta Kessler (2004) a diferenciação estratégica relacionada à qualidade do produto ou serviço de acordo com a perspectiva do

cliente ou do mercado de atuação da empresa.

Ferramentas de Qualidade

Seis Sigma

Entende-se de Rotondaro (2002) que a metodologia Seis Sigma mede a capacidade do processo em executar uma atividade com ausência de falhas reduzindo de forma significativa a variabilidade do processo, atendendo a uma qualidade do processo de 99,99966% de exatidão.

Assim, para Carvalho et al (2006) o Seis Sigma pode ser utilizado como uma ferramenta que busca a excelência através da busca da melhoria contínua nos processos.

Conceito DMAIC

Segundo Werkema (2011) DMAIC é um método que objetiva o alcance das metas estratégicas organizacionais, através do desenvolvimento de cinco etapas:

Define (Definir) – definir com precisão o escopo do projeto;

Measure (Medir) – coletar os dados e determinar a localização ou foco do problema;

Analyse (Analisar) - determinar as causas de cada problema prioritário;



Improve (Melhorar) – propor, avaliar e implementar soluções para cada problema prioritário;

Control (Controlar) - garantir que o alcance da meta seja mantido a longo prazo.

Cinco porquês

A técnica dos “5 porquês” consiste em uma técnica simples efetiva que ajuda a compreender as razões da ocorrência de problemas, estabelecendo a existência de determinado problema e sua ocorrência, através da pergunta “porquê” (SLACK et al., 2009). Trata-se de uma técnica que não envolve análise estatística avançada, mas que consegue remover as nuvens que escondem as causas reais dos problemas.

Metodologia

Levantamento do funcionamento da fábrica

Inicialmente, foi feito o levantamento do perfil e funcionamento da empresa, do maquinário utilizado, de toda a gama de peças utilizadas e detalhes da sua operação.

Aplicação do DMAIC

Definir

Na fase *Define* (Definir), foram validados o problema e objetivos do projeto; os benefícios financeiros; o escopo do projeto; mapa de processo; selecionado o time do projeto e suas responsabilidades e os indicadores a serem medidos.

Em reunião entre o gerente da fábrica e o responsável pelo PCP, foi apresentado o problema. Definiu-se, portanto, a equipe do projeto seria composta pelo gerente da fábrica, um analista de projetos, o responsável pelo PCP e dois operadores líderes, sendo um de cada turno.

Para melhor compreensão do processo produtivo como um todo e identificação dos principais setores geradores de sucata, foi esboçado um mapa do processo. A partir do esboço criado pelo gerente da fábrica e PCP, reuniu-se toda a equipe para decidir quais indicadores seriam medidos.

As partes do processo escolhidas foram submetidas à Prova de Erro, ou seja, confirmar se de fato essas etapas eram responsáveis pela geração de sucata. Para tanto, adotou-se o procedimento de observar o processo produtivo por uma semana, identificando a origem da sucata gerada, além de analisar antigos relatórios de acompanhamento.

Uma vez determinados os problemas, foi aplicada, juntamente com a equipe do



projeto, a metodologia dos Cinco Porquês, de modo a identificar as principais causas-raiz.

Logo em seguida, a equipe do projeto reuniu-se para realizar um “*brainstorming*” no intuito de encontrar potenciais soluções para os problemas identificados. Depois desta etapa, foram selecionadas as soluções mais viáveis e elaborou-se um plano de implementação.

Medir

Na fase *Measure* (Medir), os “*inputs*” e “*outputs*” do processo foram identificados juntamente com as variáveis do processo relevantes para o projeto e definido quais tipos de ferramentas seriam utilizadas para a análise dos dados.

Foram criadas planilhas do procedimento operacional a ser realizado, sendo fixada uma em cada máquina. Os operadores líderes de produção ficaram responsáveis por instruir e acompanhar este processo durante seu turno vigente.

Analisar

Na fase *Analyze* (Analisar), os dados foram analisados utilizando-se as ferramentas da qualidade definidos da fase *Measure*, com o intuito de encontrar um vínculo entre “*inputs*” e “*outputs*”

desencadeadores de desperdício no processo. As potenciais causas-raiz levantadas e submetidas ao método *Mistake-Proofing* (Prova de Erro), a fim de verificar sua validade e, em seguida, as causas consideradas válidas foram submetidas ao método *brainstorming*, sendo selecionadas as principais ideias para solução do problema.

Conforme definido na fase “*measure*”, utilizou-se o gráfico de Pareto para identificar a etapa de maior impacto no resultado final da perda metálica, de modo a concentrar nela os esforços iniciais de melhoria.

Melhorar

Na fase *Improve* (Melhorar), buscou-se redefinir o processo, eliminar as causas-raiz e adicionar valor aos clientes. Os resultados obtidos foram comparados aos objetivos traçados na fase *Define* e, uma vez aprovados, foram criados mecanismos de controle que pudessem garantir a continuidade das boas práticas adotadas.

A equipe do projeto decidiu programar a planilha que pré-definiria as quantidades de sobras descartáveis que virariam sucata, identificando os possíveis problemas. Foram realizados testes na



fábrica com operadores mais experientes na função.

Controlar

Na fase *Control*, foi discutido em reunião com a equipe do projeto sobre a transmissão dos resultados do projeto e os procedimentos para manutenção dos ganhos, sendo implementados os mecanismos de controle criados na fase antecedente.

Resultados e discussão

Dados do funcionamento da fábrica

Figura 3 – Peças cortadas e dobradas



Fonte: Editada pelos autores.

As peças produzidas são multiformes e multidimensionais, porém os diâmetros (bitolas) dos metais utilizados seguem um padrão, sendo 4,2 mm – 5,0 mm – 6,3 mm – 8,0 mm – 10 mm – 12,5 mm – 16 mm – 20 mm e 25 mm. As bitolas de 4,2 a 12,5mm vêm do fornecedor em forma de

A empresa é uma multinacional do ramo siderúrgico, cuja unidade fabril é voltada para produção de aço cortado e dobrado para a construção civil, atendendo pedidos específicos (Produção Puxada). Os clientes enviam seus projetos estruturais para a unidade industrial que, por sua vez, faz um levantamento de todas as peças existentes nesse projeto, em um processo chamado Planilhamento, e as produz de acordo com a necessidade da obra.

bobinas de 1600 kg e as de 16 a 25mm em barras de 9, 10, 11, 12 e 14 metros.

Figura 4 –Bobinas e barras



Fonte: Editada pelos autores.

A unidade fabril conta com 5 máquinas produtivas, sendo duas semiautomáticas e três manuais. As semiautomáticas são a Aço8, capaz de produzir peças com as bitolas de tamanho 4,2 mm até 8 mm, e a Prima12R, capaz de produzir peças com as bitolas de diâmetro 10 mm e 12,5mm, fazendo tanto cortes como dobras. As manuais são a C3, capaz de produzir peças com as bitolas de 16 mm a 25 mm, fazendo apenas cortes, e duas máquinas P3, capazes de dobrar todas as bitolas caso necessário. Esta máquina é manual e faz apenas dobras.

Como a matéria-prima chega à unidade em forma de bobinas, para que as peças sejam

produzidas é necessário que o material saia da máquina em forma de barra reta. Por exemplo, para que seja produzida uma peça em formato L de dimensões 20x140cm, deve sair da máquina uma barra de 20 cm, a máquina então executa automaticamente a dobra e continua “puxando” da bobina os demais 140 cm. Em seguida, a máquina executa o corte. Para que as barras saiam retas das bobinas, é necessário que passem por um conjunto de roldanas que “endireitam” as bobinas. As roldanas, portanto, precisam ser reguladas a cada troca de matéria-prima

Figura 5 – Fase antecedente às roldanas





Fonte: Schnnel Brasil (2014).

Figura 6 – Bobinas passando pelas roldanas



Fonte: Schnnel Brasil (2014).

A máquina denominada C3 é responsável pelo corte das barras retas de 16,0mm a 25,0mm. Seguindo o exemplo da peça anterior de 20cm por 140cm, caso esta precisasse ser produzida na bitola de

16,0mm, o operador da máquina de corte precisaria cortar uma barra de 160cm e encaminhá-la em seguida para a máquina de dobra P3 para que a peça fosse finalizada.

Figura 7 - Máquina C3



Fonte: Schnel Brasil (2014).

A máquina de Dobra P3 por sua vez (Figura 8), executa a dobra de todas as peças que saem da máquina C3 que não tenham formato final de uma barra reta e algumas peças que não podem ser completamente dobradas nas máquinas semiautomáticas por limitações do equipamento.

Figura 8 - Máquina de dobra P3



Fonte: Schnel Brasil (2014).

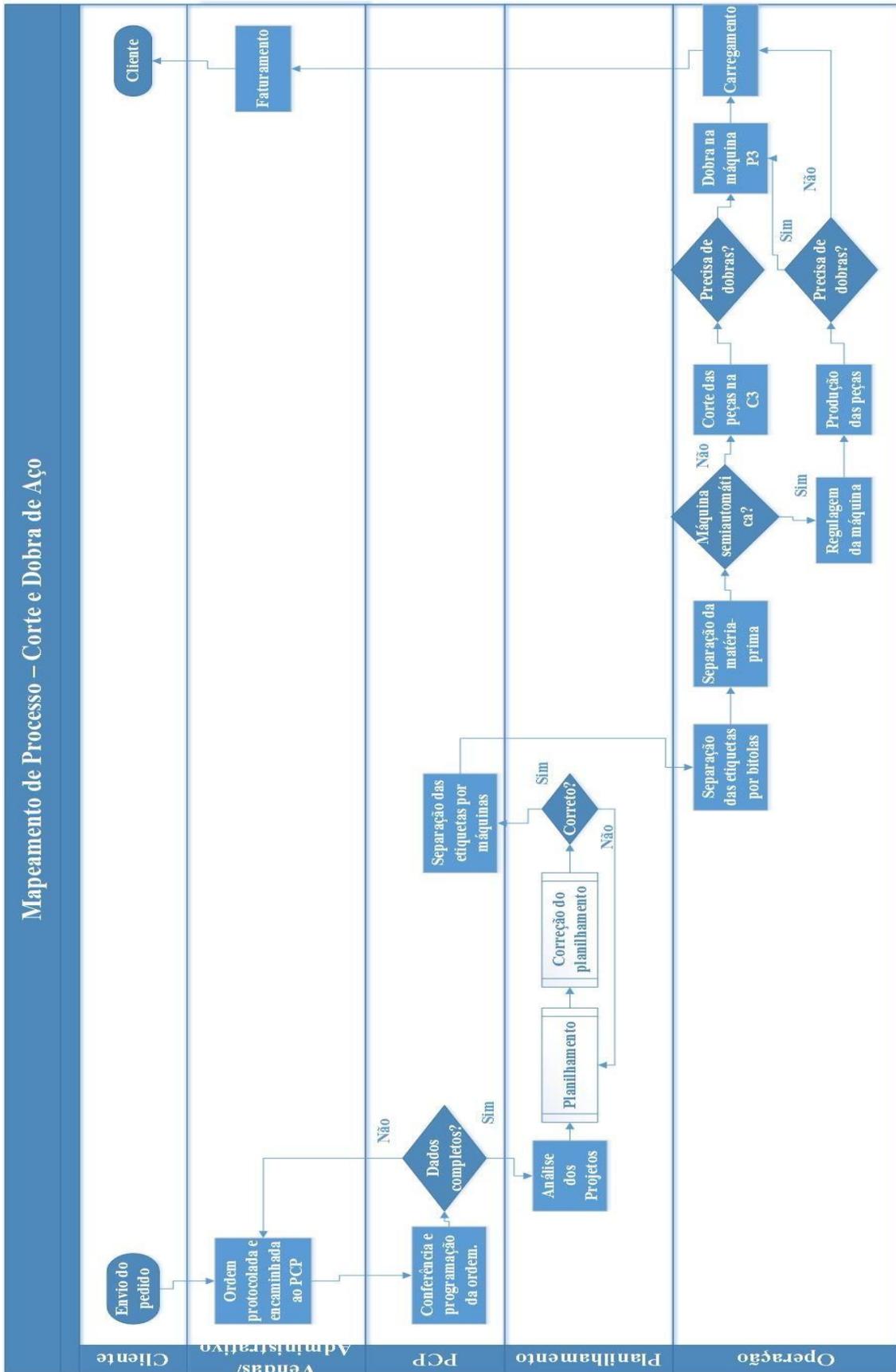
Após serem dobradas na máquina P3, as peças unem-se com as demais produzidas por completo nas máquinas semiautomáticas e às produzidas na máquina de corte que não necessitam de

dobras no estoque de materiais acabados disponíveis para carregamento.

Segue abaixo o mapa do processo que foi desenvolvido durante a execução do projeto para que o leitor tenha uma visão ampla do processo produtivo.



Figura 9 – Mapa do Processo



Fonte: Elaborada pelos autores.

Desenvolvimento do projeto

Fase Definir

Na primeira fase do método DMAIC, a perda metálica foi indicada como o principal problema enfrentado pela unidade industrial. Enquanto a média nacional de perda era de 15 kg/ton, os números variavam entre 35 e 45 kg/ton, com uma média de 38,7 kg/ton, já tendo chegado ao pico de 60 kg/ton.

Ao gerente da fábrica, coube conduzir o projeto e aplicar a metodologia. Os operadores líderes e analistas de projeto se incumbiram de colher os dados em suas respectivas áreas. Ao PCP, coube a responsabilidade de reunir os dados e garantir que a coleta fosse realizada de acordo com o plano pré-estabelecido.

Seguindo o mapa do processo, foram identificados como processos geradores de sucata: Planilhamento, Regulagem, Erro de dobra na máquina manual P3, Programação das Peças, Sobras das barras de 16, 20 e 25mm.

Os problemas identificados foram: Erro de Planilhamento, Erro de Programação, Dificuldade na Regulagem de Bobinas e Sobras de pontas na C3.

Constatou-se que os picos de perda metálica foram decorrentes do aumento da demanda por bitolas mais grossas, e desde então a fábrica começou a ter ainda maiores dificuldades em aproximar-se da média nacional do indicador.

A submissão dos problemas encontrados no processo à prova de erro foi fundamental para garantir a escolha correta dos indicadores a serem medidos. Considerando que o quilo da matéria-prima adquirida custa em média R\$3,00 e o quilo de sucata é vendido para reprocessamento no valor de R\$0,25/kg, calculou-se que haveria um acréscimo no resultado financeiro da fábrica de R\$2,75 por cada quilo de sucata reduzido. O objetivo na empresa, portanto, foi conduzir a fábrica ao alcance da marca de 15 kg/ton, contra uma média atual de 38,7 kg/ton. Caso o objetivo do projeto seja atingido, o incremento mensal para a fábrica que produz em média 300 ton/mês será de R\$ 19.552,50.

Quanto à observação do processo produtivo, não foram identificadas sucatas geradas por erros de dobras na máquina manual P3, nem dados significativos nos relatórios apontando essa causa. De igual maneira, não foram identificadas sucatas geradas por erros de planilhamento, no entanto, segundo relato dos próprios



analistas de projetos e com alguns raros históricos de análise de falha, o planilhamento permaneceu como atividade a ser medida e estudada.

Portanto, os indicadores foram definidos conforme descrito no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 – Indicadores de perda

Indicador
Quilo de sucata por tonelada de produção gerada por erro de planilhamento.
Quilo de sucata por tonelada de produção gerada por dificuldades de regulagem das bobinas nas máquinas semiautomáticas.
Quilo de sucata gerada por tonelada de produção devido a peças produzidas erradas por erro de programação.
Quilo de sucata gerada por tonelada de produção por sobra de pontas na produção de peças na máquina manual C3. (Ex: Se duas peças de 16,00mm possuem 4,1m cada, utiliza-se uma barra de 9m para cortá-las, a sobra de 80cm se torna sucata).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Fase Mensurar

Para garantir que os dados fossem coletados adequadamente, criou-se planilhas com informações básicas sobre como coletar os dados e colocou-se uma em cada máquina,

sendo que os operadores líderes de produção ficaram responsáveis por instruir e acompanhar este processo durante seu turno vigente.

Tabela 1 – Total de sucata

Bitola (mm)	Produção (Ton)	Sucata (kg)	Sucata/Produção (kg/ton)
4,2	6,972	52	7,46
5,0	10,892	102	9,36
6,3	14,845	156	10,51
8,0	25,434	307	12,07
10,0	62,731	907	14,46
12,5	52,125	786	15,08
16,0	68,176	3240	47,52
20,0	33,934	3129	92,21
25,0	28,714	2157	75,12
TOTAL	303,823	10836	35,67

Fonte: Elaborada pelos autores.



Nas máquinas Prima12R e Aço8 foi criada uma planilha contendo campos para apontar a sucata gerada por bitola por tipo de erro

ou dificuldade, a saber, erro de programação e dificuldade de regulagem da máquina

Tabela 2 – Sucata gerada na Prima12R e Aço8

Bitola (mm)	Erro de Programação (kg)	Dificuldades na Regulagem (kg)
4,2	11	41
5,0	16	86
6,3	22	134
8,0	9	298
10,0	56	851
12,5	82	704
TOTAL	196	2114

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na máquina C3, foi colocado uma planilha contendo campos para que fosse informado

a sucata por bitola e o tamanho em metros da sobra gerada.

Tabela 3 – Sucata gerada na C3

Bitola (mm)	Sucata (kg)
16,0	3240
20,0	2680
25,0	2157
TOTAL	8077

Fonte: Elaborada pelos autores

Todo o material encontrado na fábrica durante a inspeção final de qualidade, ou devolvidos pelos clientes por não-conformidade devido a problemas de planilhamento, seriam computadas como sucata gerada pela processo de planilhamento de projetos.

Todos os dias os dados seriam conferidos pelo gerente da fábrica e PCP, e se houvessem dúvidas sobre o levantamento, as pessoas responsáveis eram convocadas para esclarecê-las.

Ao longo do mês constatou-se que foi gerado ao todo na fábrica 10.836 kg de sucata, contra uma produção de 303,8 toneladas.

Observou-se, então, que o total de sucata gerada computada na C3 foi menor que o total gerado pela fábrica. Isto ocorreu em decorrência de 449 kg terem sido gerados por erro de planilhamento.

A partir desses dados, decidiu-se que seria feito o gráfico de Pareto para identificar o



impacto de cada etapa do processo medido sobre a perda metálica total da fábrica.

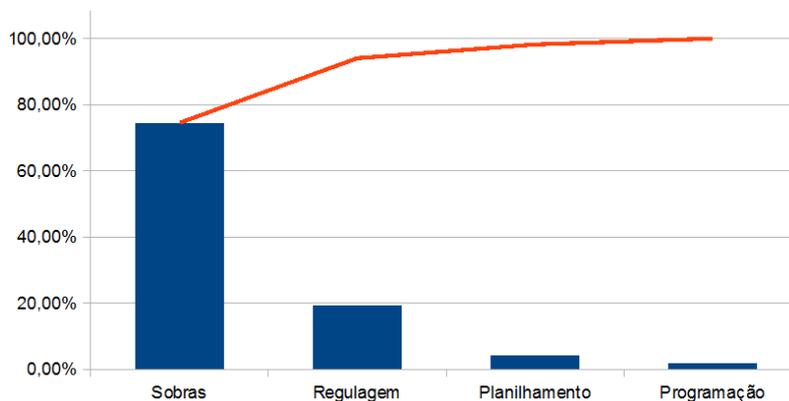
Fase Analisar

A etapa “*Analyze*” teve por objetivo identificar e verificar as causas-raiz dos

problemas levantados, criar soluções para estes problemas e definir a forma como seriam implementados.

O resultado obtido pode ser observado no gráfico expressado na Figura 10 a seguir.

Figura 10 – Causas-raiz



Fonte: Elaborada pelos autores.

Conforme pôde ser observado no gráfico, a sobra de barras na máquina C3 foi responsável por aproximadamente 75% das perdas na fábrica, seguida da regulagem de bobinas nas máquinas semi-automáticas, Aço8 e Prima12R, com aproximadamente 20% de peso sobre o resultado. O Planilhamento de projetos foi responsável

por 4% e a programação de peças nas máquinas semiautomáticas foi responsável por aproximadamente 2% da perda metálica.

O quadro 1 abaixo demonstra a perda metálica por indicador escolhido na fase *Define* que reafirmam os resultados observados no gráfico.

Quadro 2 – Perda metálica por produção total



INDICADOR	Kg de sucata/Ton de Prod. Total da Fábrica
Kg de sucata por tonelada de produção gerada por erro de planilhamento.	1,477946017
Kg de sucata por tonelada de produção gerada por dificuldades de regulagem das bobinas nas máquinas semi-automáticas.	6,958525346
Kg de sucata gerada por tonelada de produção devido a peças produzidas erradas por erro de programação.	0,64516129
Kg de sucata gerada por tonelada de produção por sobra de barras na produção de peças na máquina manual C3.	26,58657011

Fonte: Elaborado pelos autores.

A ferramenta de qualidade “Cinco Porquês” teve a finalidade de descobrir as causas-raízes responsáveis pela perda metálica em cada um dos processos analisados. Os Resultados podem ser observados nos quadros que se seguem.

Quadro 3 – Problema de sobra de pontas na máquina C3

Sobra de pontas na máquina C3	
1º Porquê	O tamanho das peças com o tamanho das barras não coincidem
2º Porquê	Nem sempre encontra-se peças que tendo seu tamanho somado, cheguem próximos do tamanho das barras disponíveis (9,10,11,12 e 14 m)
3º Porquê	Falta tempo e conhecimento para os operadores fazerem os cálculos de todas as peças a serem cortadas
4º Porquê	Nas oportunidades em que isto foi tentado, o tempo de processo e a perda metálica acabaram aumentando.
5º Porquê	Não existe uma pessoa com treinamento específico para fazer um plano de corte otimizado para reduzir a quantidade de sucata gerada.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quadro 4 – Problema de regulagem das bobinas



Geração de sucata durante a regulagem das máquinas semiautomáticas	
1º porquê	Desperdício de material durante a regulagem
2º porquê	É necessário fazer a máquina funcionar manualmente para testar a regulagem
3º porquê	Para verificar se o material que está saindo está regulado corretamente
4º porquê	Se o material não estiver dentro do padrão de qualidade, a função cortar da máquina é acionada e o material descartado
5º porquê	O material já foi “amolecido” e não serve mais para testar uma nova regulagem

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quadro 5 – Problema de erro de planilhamento

Erro de planilhamento	
1º porquê	Erro na correção do planilhamento
2º porquê	Falta de percepção ou conhecimento do analista
3º porquê	O mesmo detalhe ignorado pelo analista no planilhamento, continua sendo ignorado por ele durante a correção
4º porquê	O mesmo analista que planilha corrige o projeto que analisou
5º porquê	Não existe um padrão de planilhamento e correção

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quadro 6 – Problema de erro de programação das peças



Erro de programação	
1º porquê	Peças com defeito por erro de programação
2º porquê	Programações com erro de digitação
3º porquê	Colaborador não confere a programação após digitá-la
4º porquê	Colaborador deseja ganhar tempo
5º porquê	Não existe nada no padrão que estabeleça conferência após a digitação.

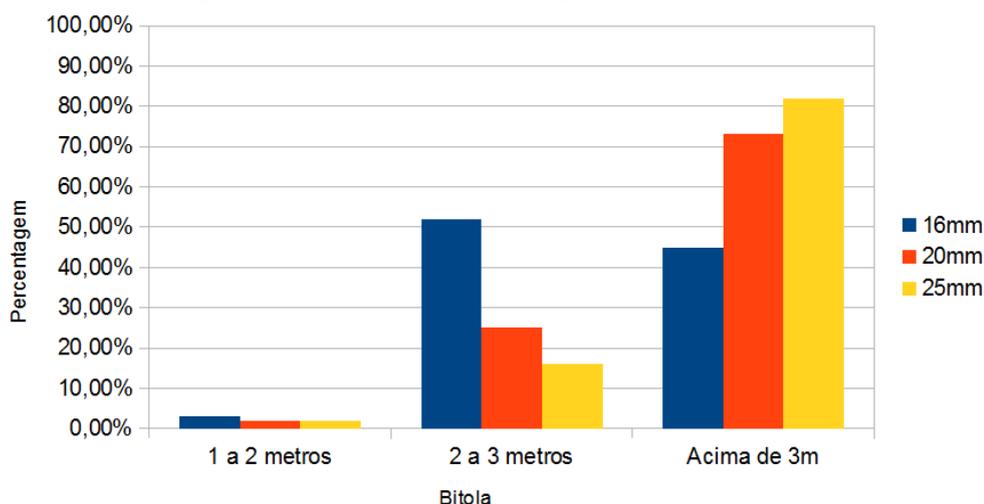
Fonte: Elaborado pelos autores.

Após a identificação das principais causas-raiz dos problemas, a equipe do projeto realizou um *brainstorming* no intuito de encontrar potenciais soluções para os problemas identificados. Após esta etapa, selecionou-se aquelas que seriam as soluções mais viáveis e elaborou-se um plano de implementação.

Foi definido o tamanho de sobra a ser considerada como sucata e qual

comprimento seria considerado como material utilizável. Para isto foram reunidos todos os projetos planejados em um mesmo mês e separadas as peças de 16 mm, 20 mm e 25 mm por comprimento, a fim de verificar a frequência em que estes comprimentos apareciam nos pedidos dos clientes. O resultado está exposto no gráfico expressado na Figura 11 a seguir.

Figura 11 – Percentual de comprimentos por bitola



Fonte: Elaborada pelos autores.

Analisando-se o gráfico, observou-se que nenhuma das bitolas tem quantidade

significativa de peças menores que 2m, por outro lado, a bitola de 16 mm teve uma



quantidade significativa (52%) de peças entre 2m e 3m. Já as bitolas de 20 e 25 mm tiveram uma significância média, de 25 e 16%, respectivamente.

Fase Melhorar

Para solucionar a quantidade de sucata gerada durante o processo de corte de peças na máquina C3, alterou-se o padrão operacional dos analistas de projetos. Estes passaram a ser responsáveis por separar as etiquetas por bitola e comprimento e elaborarem um plano de corte utilizando-se de uma planilha programada em *Visual Basic*, que selecionava as peças que deveriam ser cortadas juntas e qual tamanho de barra seria utilizada. As etiquetas passaram a ir para a produção separadas em pequenos lotes com uma planilha de corte anexada.

A planilha programada permitia sobras descartáveis de no máximo 1,2m na bitola de 16 mm e de no máximo 1,8 metros nas bitolas de 20 e 25 mm, acima disso, a planilha geraria peças utilizáveis acima de 2 m na bitola de 16 mm, e maiores que 3 m nas bitolas de 20 e 25 mm. Por exemplo, duas peças de 16 mm de 4,1 m serão cortadas em uma barra de 9m com uma sobra descartável de 80 cm. Já duas peças de 16 mm de 365 cm cada, não serão cortadas em uma barra de 9 metros com sobra descartável de 170 cm, mas em uma

barra de 10 metros sobrando uma barra utilizável de 280 cm.

Para solucionar o problema de geração de sucata durante o processo de regulagem, foram realizados testes na fábrica com operadores mais experientes na função e, diagnosticou-se que não havia interferência significativa na regulagem da máquina caso utiliza-se a mesma parte da bobina utilizada em uma primeira tentativa, tratando-se apenas de um costume adquirido pelos operadores ao longo dos anos.

Desta forma, determinou-se que ao invés de acionar a opção de corte da máquina, após uma primeira tentativa de regulagem frustrada, fosse utilizado a opção recuo, para que o material fosse rebobinado e fosse utilizado novamente.

Outro problema identificado como processo gerador de sucata foi a programação, e sua causa-raiz identificada foi a inexistência de padrão de conferência pós-programação da máquina. Para a sua resolução, definiu-se que depois da programação, o operador tivesse que conferi-la com a etiqueta antes de acionar a máquina.

Também foi identificado como problema o planilhamento. Para a resolução do problema, alterou-se o padrão de modo que um analista fizesse o planilhamento e outro analista fizesse a correção. Depois de um mês de implantação dessas soluções



apresentadas acima, os resultados voltaram a ser medidos e comparados com os resultados coletados originalmente.

Observou-se então que houve uma redução (Tabela 4) na perda metálica da fábrica em 72,68%, colocando-a em um patamar superior à média nacional.

Tabela 4 – Redução percentual de sucata

Bitola (mm)	Total de Sucata			Redução
	Produção (ton)	Sucata (kg)	Sucata/Produção (kg/ton)	
4,2	7,143	21	2,94	60,58%
5,0	10,581	37	3,50	62,64%
6,3	15,117	62	4,10	60,97%
8,0	26,138	203	7,77	35,66%
10,0	64,233	267	4,16	71,25%
12,5	56,219	321	5,71	62,13%
16,0	72,765	715	9,83	79,32%
20,0	38,792	876	22,58	75,51%
25,0	31,497	640	20,32	72,95%
TOTAL	322,485	3142	9,74	72,68%

Fonte: Elaborada pelos autores.

O número alcançado de 9,74 kg/ton, tendo-se em conta que a fábrica produziu no mês 322,485 toneladas gerou uma economia de R\$ 22.988.87.

Fase Controlar

Definiu-se que a transmissão dos resultados do projeto e os procedimentos para manutenção dos ganhos seria realizada pelo gerente da fábrica durante a reunião regional mensal.

Para manutenção dos ganhos, foi apresentado o projeto para toda a equipe da unidade e todos foram treinados no novo padrão de produção e planilhamento.

Definiu-se novas metas de kg/ton por bitola e por máquina, sendo que os dados seriam acompanhados por operador e por turno de

produção. Todos os dados seriam incluídos em planilhas de controle. Toda vez que um resultado estivesse fora do padrão, o operador juntamente com o operador-líder, PCP, e gerente da fábrica se reuniriam para diagnosticar a falha e traçar um plano de ação para retornar o resultado para dentro da meta.

5. Conclusão

A aplicação das ferramentas de gestão e qualidade do Seis Sigma através da metodologia DMAIC possibilitou abordar o problema de forma ampla e profunda através da integração dos profissionais de todos os departamentos envolvidos, mostrando-se eficaz, uma vez que contribuiu para a significativa redução da



perda metálica na fábrica em 72,68%, superior à maioria das fábricas nacionais, cuja média da perda metálica era de 15kg/t, gerando uma economia de R\$ 22.988.87.

O Resultado obtido evidencia que houve um aprimoramento do processo produtivo, através da melhoria da qualidade e consequente redução de custos.

REFERÊNCIAS

BRITO, F. O.; DACOL, S. **A manufatura enxuta e a metodologia seis sigma em uma indústria de alimentos.** Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

CAMPOS, V.F. **TQC: Controle da qualidade total (no estilo japonês).** Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de engenharia da UFMG, p. 14, 1992.

CARVALHO, M. M.; PALADINI, E.P. **Gestão da Qualidade – Teoria e casos.** Rio de Janeiro: Campus, 2006.

ECKES, George. **A Revolução Seis Sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucro.** 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Campos, 2001.

KESSLER, Rafael Motta. **A implantação do Seis Sigma em organizações: motivações de escolha e resultados obtidos.** 113f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004..

RIANI, Aline Mattos. **O Lean Manufacturing Aplicado na Becton Dickinson.** 2006. 52 f. Dissertação (Faculdade de Engenharia, B.Sc.,Engenharia de Produção,) -

Conclui-se portanto, que o presente trabalho aplicou de forma satisfatória os conceitos da metodologia DMAIC em um problema real, no intuito de reduzir os desperdícios gerados durante o processo produtivo de corte e dobra de aço para construção civil.

Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora. 2006.

ROTONDARO, R. **Seis Sigma: Estratégia Gerencial para melhoria de processos, produtos e serviços.** São Paulo: Editora Atlas, 2002.

SCHNNEL Brasil. Portfólio, 2014. Disponível em: <http://www.schnellbrasil.com.br/portfolio_type/produtos/>. Acesso em: 01 de fev. 2016.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção.** 3ed. Ed. Atlas: São Paulo, 2009.

SOUZA, J.V. de; CAMPOS; CAMPOS, R. **de Mapeamento de processos de produção de açúcar visando a rastreabilidade do produto.** Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGEP, 2008.

WERKEMA, Cristina. **Lean Seis Sigma: Introdução às ferramentas do Lean Manufacturing.** 2 ed. Ed. Elsevier: Rio de Janeiro, 2011.



CAPÍTULO IV

Controle Estatístico de Processo: Estudo de Caso em uma Indústria de Alimentos

Michele Carvalho Oliveira.

Jabra Haber

Evandir Megliorini

RESUMO: O controle estatístico de processo é um conceito da qualidade que apresenta diversas ferramentas que visam monitorar e tratar anomalias do processo. Dentre as ferramentas do controle estatístico de processo têm-se os gráficos de controle e a capacidade. Os gráficos de controle de variáveis monitoram características escalares, tais como massa e dimensões. Espera-se que a linha da realidade do processo sempre esteja distribuída de maneira aleatória dentro dos limites de controle, e se isto não for verdadeiro, é indício de que o processo está sob influência de ruídos especiais. A capacidade do processo por sua vez, apresenta a relação entre os limites tolerados do processo e o desvio padrão do mesmo, sendo que este índice deve ser maior ou igual a 1,0 para processos capazes. Assim sendo este trabalho teve como objetivo apresentar os conceitos sobre o controle estatístico de processo, e realizar uma pesquisa através de um estudo de caso onde foram aplicados tais conceitos. No estudo de caso, aplicaram-se os conceitos no controle de peso de um produto de uma indústria de alimentos, tendo como resultado a demonstração da incapacidade do processo tanto pelos gráficos de controle como pela capacidade do processo.

Palavras-chave: CEP; Qualidade; Gráficos para controle de variáveis; Indústria de alimentos; Engenharia de gestão.

Introdução

O conceito de qualidade está presente na vida das civilizações desde a pré-história, uma vez que, para sobreviver o homem primitivo utilizava ferramentas – lanças, cajados e facas e, se estes não estivessem em perfeito funcionamento, sua vida poderia estar em risco. Este cenário de melhoria e incorporação da qualidade na sociedade esteve presente em todos os momentos da história humana, chegando até os dias atuais em um cenário globalizado, que exige que os sistemas de qualidade adotados pelas empresas estejam alinhados, levando a criação de normas internacionais que são amplamente adotados (FERNANDES, 2011).

A qualidade foi amplamente desenvolvida no contexto produtivo, e o conceito de indústria tal como se conhece hoje, começou a ser vivenciado em 1794 com a invenção da máquina a vapor por James Watt, dando um grande salto com a administração da produção desenvolvida por Frederick Taylor no século XIX - que levou a sistematização da produção. Em 1910 Henry Ford criou o conceito de linha seriada de montagem que possibilitava a produção em massa, algo revolucionário que gera ressonâncias até os dias atuais (MARTINS; LAUGENI, 2005).

Com o aumento da necessidade de produzir em grandes volumes, muitas vezes a padronização era omitida durante o processo, comprometendo a qualidade do produto. Então, em 1924, Walter A. Shewhart desenvolveu o conceito estatístico de gráficos de controle, contudo foi durante a Segunda Guerra Mundial que se viu como necessidade a utilização de ferramentas estatísticas para controle e melhoria da qualidade dos produtos.

Este trabalho tem como objetivo apresentar alguns conceitos de controle estatístico de processo e, realizar uma pesquisa por meio de um estudo de caso para aplicar os conceitos apresentados. No estudo de caso será analisada a variabilidade de um processo de uma indústria de alimentos localizada no ABC paulista, que está inserida em um mercado extremamente exigente em relação à qualidade.

Tal aplicação se justifica por que, o controle estatístico de processo é uma ferramenta que auxilia as organizações a atingirem padrões adequados de processo e qualidade, que são requisitos almejados tanto por acionistas quando por clientes.

2.1 Gráficos para Controle de Variáveis

O gráfico mais comum utilizado para o controle de variáveis é o gráfico \bar{X} -R, isto porque ele condensa dois gráficos em um.



Sendo que o gráfico \bar{X} controla a média da amostra – pode acontecer do processo variar na posição da média e a faixa de variação permanecerem constante, e o gráfico R controla a variação da amostra em relação à medida da faixa – a posição da média permanece constante, porém a faixa varia.

Para se determinar os limites de controle, considera-se a média da população (\bar{X}) e a faixa média (\bar{R}), a partir de m amostras de tamanho n – equações [1] e [2] respectivamente.

$$\bar{X} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_m}{m} \quad [1]$$

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m} \quad [2]$$

E os limites de controle para a média da amostra são:

$$\text{Limite superior de controle (LSC)} = \bar{X} + A_2 \bar{R} \quad [3]$$

$$\text{Limite inferior de controle (LIC)} = \bar{X} - A_2 \bar{R} \quad [4]$$

Já os limites de controle para o gráfico de faixa são:

$$\text{Limite superior de controle (LSC)} = D_4 \bar{R} \quad [5]$$

$$\text{Limite inferior de controle (LIC)} = D_3 \bar{R} \quad [6]$$

Os fatores A_2 , D_3 e D_4 variam de acordo com o tamanho da amostra – Anexo A.

2.2 Interpretação de Gráficos de Controle

Ao interpretar um gráfico de controle é necessária a tentativa de identificar causas especiais de variação (GOMES, 2010).

O que se espera de um gráfico de controle é que os pontos estejam distribuídos de maneira aleatória em torno da média do processo, e não seguindo uma tendência crescente, decrescente, pontos fora dos limites de controle, e outros (GOMES, 2010).

A norma ISO 8258:1991 apresenta critérios para se analisar os gráficos de controle. Inicialmente é necessário dividir a área dos limites dos gráficos em seis zonas conforme figura 1 (OLIVEIRA; GRANATO; CARUSO; SAKUMA, 2013).

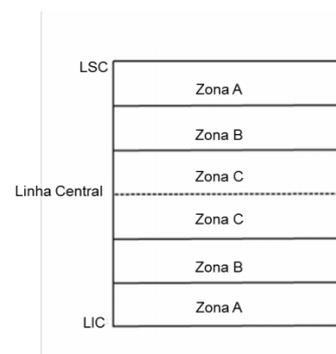


Figura 1 - Gráfico de controle e zonas de análise para detecção de anomalias. Fonte: Adaptado de OLIVEIRA; GRANATO; CARUSO; SAKUMA, 2013



Em seguida aplicam-se oito critérios para se analisar o comportamento do gráfico de controle:

- A. Um ou mais pontos acima dos limites de controle;
- B. Nove pontos consecutivos na zona C ou no mesmo lado da linha média;
- C. Seis pontos consecutivos, todos aumentando ou todos diminuindo;
- D. Quatorze pontos consecutivos alternados para cima e para baixo;
- E. Dois de três pontos consecutivos na zona A ou além dela;
- F. Quatro pontos consecutivos na zona B ou além dela;
- G. Quinze pontos consecutivos na zona C, tanto acima como abaixo da linha média;
- H. Oito pontos consecutivos na zona B.

2.3 Capabilidade de Processo

A capabilidade do processo se refere à capacidade do processo de satisfazer as especificações de projeto ou produto.

A capacidade do processo é o indicador da aceitabilidade do processo. É definido como a razão entre a faixa de especificação – que é a diferença entre o limite superior de tolerância (LST) e o limite inferior de tolerância (LIT), e a variação natural do processo – definida como ± 3 desvios-

padrão (SLACK; JOHNSTON; CHAMBERS, 2009).

Se o resultado da equação [7] for maior que 1,0, é indicativo de que o processo é capaz, e se o resultado é menor do que 1,0 significa que o processo não é capaz (SLACK; JOHNSTON; CHAMBERS, 2009).

$$C_p = \frac{LST - LIT}{6\sigma} [7]$$

A aplicação do C_p pressupõe que a média da variação do processo está no ponto médio da faixa de especificação (LST – LIT), e nem sempre esta premissa é verdadeira, assim é necessário analisar os limites laterais para que a conclusão seja mais precisa (SLACK; JOHNSTON; CHAMBERS; 2009).

O índice unilateral superior (C_{pu}) e o índice unilateral inferior (C_{pl}) são definidos conforme equação [8] e [9] respectivamente, sendo \bar{X} a média do processo (SLACK; JOHNSTON; CHAMBERS, 2009).

$$C_{pu} = \frac{LST - \bar{X}}{3\sigma} [8]$$

$$C_{pl} = \frac{\bar{X} - LIT}{3\sigma} [9]$$

Em muitos casos, apenas o valor mínimo entre os dois índices é considerado para



avaliar a capacidade do processo, sendo este chamado de C_{pk} – equação [10].

$$C_{pk} = \min(C_{pl}, C_{pu}) \quad [10]$$

3. Estudo de Caso

A indústria no qual se realizou o estudo de caso possui mais de sessenta anos de atuação no mercado, posiciona-se como uma das líderes globais da indústria de alimentos, com mais de 300 mil clientes espalhados em mais de 150 países. O mercado brasileiro movimentou US\$31,5 bilhões em 2016, e é regulado pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), que exige das empresas uma série de requisitos que asseguram a qualidade do alimento processado.

A característica de interesse é o peso do produto “prato pronto”, bem como a definição da capacidade do processo no qual este produto é produzido.

3.1 Planejamento do Caso

O estudo de caso sobre controle estatístico de processo foi realizado em uma empresa alimentícia de grande porte, que se localiza na região do ABC paulista. A empresa em questão tem como especialidade a produção de massas frescas e pratos prontos de diversos tipos – tais como: lasanhas congeladas, escondidinhos e panquecas.

O estudo realizou-se no setor que produz lasanhas congeladas e pratos prontos congelados, e a variável que analisada foi o peso do produto final, sendo este uma característica contínua tratada como análise de variável.

O monitoramento do peso do produto final é muito importante para a empresa, por afetar o custo e a característica do produto. Escolheu-se o setor “pratos prontos” por ser o de maior volume de produção da fábrica, com média de produção de 45 toneladas por dia. O peso padrão do produto analisado é de 600 gramas.

O setor analisado possui duas linhas de produção e trabalha em três turnos, assim sendo, foi feita a análise separada dos turnos e das linhas, buscando a identificação das particularidades de cada um. Esta análise permite inferir sobre quais linhas e turnos apresentam as maiores oscilações de processo.

Também, foi calculada a capacidade do processo, sendo esperado um resultado próximo entre os turnos, já que os métodos adotados pela operação são semelhantes.

Coletaram-se os dados durante 15 dias, entre os meses de dezembro de 2016 e janeiro de 2017.

Os dados foram coletados em um formulário padrão, que é utilizado pela empresa. A coleta de dados foi realizada



por operadores que treinados para executar esta tarefa, que realizam esta atividade há pelo menos três meses.

A amostragem e frequência aplicada foram realizadas conforme procedimento já adotado pela empresa.

Os dados foram transcritos para uma planilha eletrônica, e o programa utilizado na análise foi o Excel 2007 da Microsoft.

Após a transição, aplicaram-se as fórmulas para a realização do estudo conforme descrito no item 2.1 – gráficos para controle de variáveis.

Em seguida foram plotados os gráficos \bar{X} e R, respeitando a divisão entre linhas e turnos, e realizado a análise dos resultados demonstrados pelos gráficos.

Também se calculou a capacidade do processo a partir da planilha de dados gerada, e realizou-se a análise comparativa entre os setores.

3.2 Coleta de Dados

Os dados foram coletados durante quinze dias, entre o final de dezembro e começo de janeiro de 2017, através da folha de controle.

Os mesmos foram coletados por três operadoras de produção, sendo a frequência de coleta dos dados realizada a cada hora, com a seleção de dez produtos.

Os produtos utilizados foram obtidos de maneira aleatória na última etapa do processo, e pesados em uma balança calibrada. Em seguida a folha de controle foi preenchida com os dados.

3.3 Análise de Dados e Discussão

Conforme apresentado pela literatura, para os gráficos de controle de variáveis, recomenda-se a análise da variação da média e da amplitude do processo – gráficos \bar{X} e R. Assim sendo, calcularam-se as médias e amplitudes dos dados que coletados.

Para a análise dos gráficos considerou-se os oito critérios apresentados no item 2.2 – Interpretação de gráficos de controle:

Conforme apresentado, optou-se por analisar duas linhas do setor de interesse – linha 1 e linha 2, e como os dados foram coletados em três turnos diferentes, também se segmentou este item.

Os gráficos contidos na figura 2 dizem respeito à linha 1, e partindo destes construiu-se as tabelas 1 e 3, que demonstram como cada um dos critérios do item 2.2 é apresentado em cada um dos gráficos.



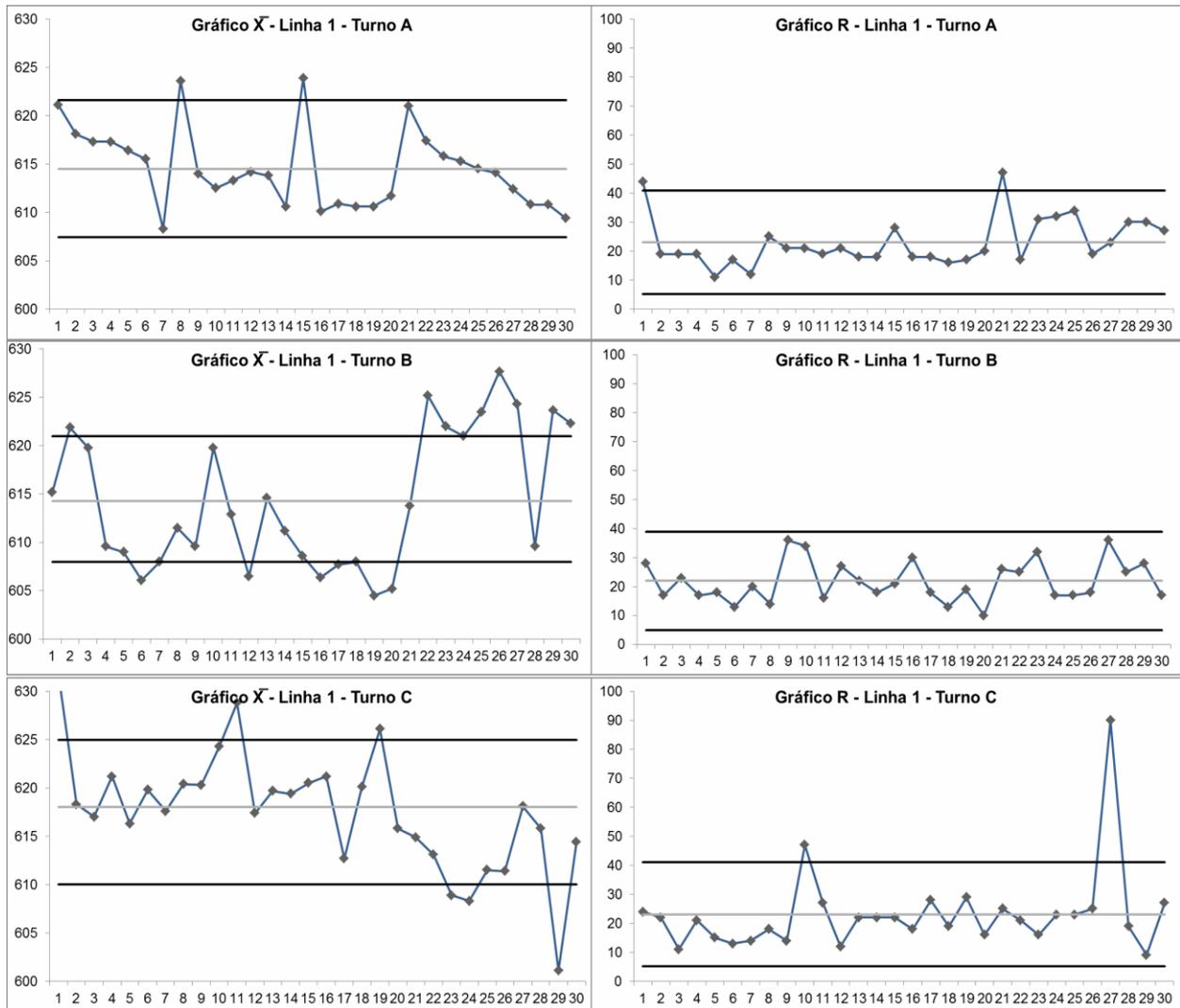


Figura 2 – Gráficos de Controle Linha 1. Fonte: Próprio autor

Os itens que aparecem em vermelho e escrito “não” nas tabelas representam que o critério é não conforme, e os itens que aparecem em verde e escrito “sim” significam que o critério está conforme – tais premissas foram aplicadas para todas as análises.

Na tabela 1, são avaliados os critérios para o gráfico do tipo \bar{X} –

comportamento do processo em relação à média da linha 1.

Nesta tabela observa-se que todos os turnos não atenderam os critérios A e F. Os turnos A e C, também apresentaram desvio no critério C, e os turnos B e C apresentaram desvio no critério E.

Tabela 1 – Análise Gráfico Tipo \bar{X} Linha 1



Gráficos X - Linha 1									
	Critérios								
	A	B	C	D	E	F	G	H	Conclusão
Turno A	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Processo apresenta anomalia na média
Turno B	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Processo apresenta anomalia na média
Turno C	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Processo apresenta anomalia na média

Fonte: Próprio autor

Já quando se analisa o comportamento da variação da amplitude para a linha 1 – Tabela 2 observa-se que todos os turnos apresentaram desvios. Sendo que os turnos A e C apresentaram pontos fora dos limites de controle – critério A. O turno B

apresentou desvio no critério E. Neste sentido, conclui-se que para a linha 1 nenhum dos turnos estudados apresenta um processo que atua apenas com ruído de fundo.

Tabela 2 – Análise Gráfico Tipo R Linha 1

Gráficos R - Linha 1									
	Critérios								
Gráfico/ Critério	A	B	C	D	E	F	G	H	Conclusão
Turno A	Não	Sim	Processo apresenta anomalia na média						
Turno B	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Processo apresenta anomalia na média
Turno C	Não	Sim	Processo apresenta anomalia na média						

Fonte: Próprio autor



Também se calculou o Cpk para os três turnos – última linha da tabela 3. O limite de tolerância superior (LTS) foi definido considerando uma variação de 2% do peso padrão – no caso 612 gramas, já o limite inferior de tolerância foi definido baseado

no mínimo peso que o produto pode ser enviado para o cliente – 595 gramas.

Como resultado, obteve-se capacidades negativas, e conforme apresentado por SLACK; JOHNSTON; CHAMBERS (2009) um processo é considerado capaz quando este índice é maior ou igual a 1,0.

Tabela 3 – Capacidade Turnos Linha 1

Capacidade do Processo Linha 1 - Turno A		Capacidade do Processo Linha 1 - Turno B		Capacidade do Processo Linha 1 - Turno C	
LST	612	LST	612	LST	612
LIT	595	LIT	595	LIT	595
σ	9	σ	11	σ	10
	615		614		618
Cp	0,315	Cp	0,258	Cp	0,283
Cpu	-0,111	Cpu	-0,061	Cpu	-0,200
Cpl	0,741	Cpl	0,576	Cpl	0,767
Cpk	-0,111	Cpk	-0,061	Cpk	-0,200

Fonte: Próprio autor

Os gráficos de controle para a linha 2 são apresentados na figura 3, e a análise dos critérios são apresentados nas tabelas 4 e 5.



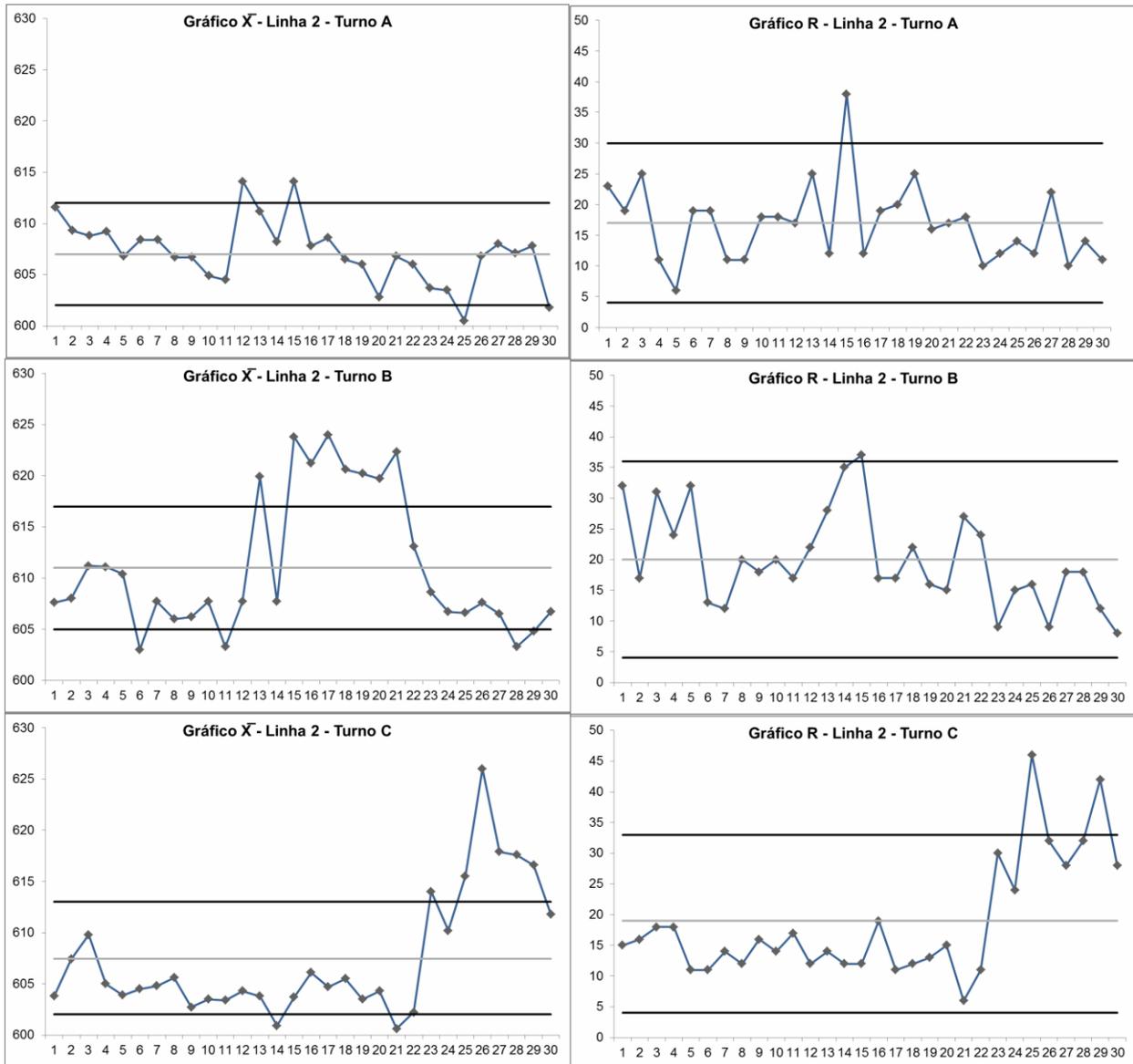


Figura 3 - Gráficos de Controle Linha 2. Fonte: Próprio autor

Os dados apresentados na tabela 4 apresentam o comportamento da média do processo para os três turnos, considerando os oito critérios do item 2.2.

Todos os turnos apresentaram desvio nos critérios A, E e F, e os turnos C e A também apresentaram desvio no critério B.



Tabela 4 – Análise Gráfico Tipo X Linha 2

Gráficos R- Linha 2									
	Critérios								
	A	B	C	D	E	F	G	H	Conclusão
Turno A	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Processo apresenta anomalia na amplitude
Turno B	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Processo não apresenta anomalia na amplitude
Turno C	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Processo apresenta anomalia na amplitude

Fonte: Próprio autor

Na tabela 5 são apresentados os critérios em relação ao comportamento do gráfico de variação de amplitude para a linha 2.

Todos os turnos apresentaram desvio no critério A – pontos fora dos limites de controle. Os turnos B e C apresentaram

desvio no item E, e o turno C também apresentou desvio no critério B e F.

Para a linha 2, tanto quando se avalia a variação da média como a variação da amplitude, nenhum dos turnos estudados apresentou um comportamento controlado.

Tabela 5 - Análise Gráfico Tipo R Linha 2

Gráficos R- Linha 2									
	Critérios								
	A	B	C	D	E	F	G	H	Conclusão
Turno A	Não	Sim	Processo apresenta anomalia na amplitude						
Turno B	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Processo apresenta anomalia na amplitude



Turno C	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Processo apresenta anomalia na amplitude
---------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--

Fonte: Próprio autor

Calculou-se a capacidade do processo para a linha 2, e do mesmo modo que aconteceu com a linha 1, nenhum dos

processos demonstraram capacidade – conforme última linha da tabela 6. Todos os Cpk's ficaram abaixo de 1,0.

Tabela 6 – Capacidade Turnos Linha 2

Capacidade do Processo Linha 2 - Turno A		Capacidade do Processo Linha 2 - Turno B		Capacidade do Processo Linha 2 - Turno B	
LST	612	LST	612	LST	612
LIT	595	LIT	595	LIT	595
σ	7	σ	10	σ	9
	607		611		607
Cp	0,405	Cp	0,283	Cp	0,315
Cpu	0,238	Cpu	0,033	Cpu	0,185
Cpl	0,571	Cpl	0,533	Cpl	0,444
Cpk	0,238	Cpk	0,033	Cpk	0,185

Fonte – Próprio autor

Conforme demonstrado nas tabelas, todos os processos estudados apresentaram ruídos que são causas especiais, e que devem ser sanados do processo.

Os Cpk's calculados corroboraram os resultados dos gráficos de controle, demonstrando que o processo não é capaz em nenhuma das variações estudadas – linhas e turnos.

Assim sendo é necessária a realização de uma avaliação profunda dos processos, em

busca de reduzir a variabilidade do processo.

5. Considerações Finais

O controle estatístico de processo, e todas as suas ferramentas, são importantes instrumentos de avaliação do processo que devem ser incorporadas nas rotinas industriais, tanto com foco no monitoramento do processo como na busca pela melhoria contínua.

No estudo de caso apresentado, foi possível concluir através dos gráficos e R,



e da aplicação dos critérios de análise que todos os turnos e linhas analisadas não estão sob controle estatístico, logo apresentam causas de variações especiais. Além da variação do processo quando se observa as médias e amplitudes, foi possível aplicar a teoria da capacidade do processo, que por sua vez corroborou a incapacidade do processo – todos os índices Cpk apresentaram valores menores do que 1,0.

O objetivo do presente trabalho foi atingido, visto que se apresentaram os conceitos sobre o controle estatístico de processo, e aplicaram-se os mesmos em um estudo de caso.

Referências

FERNANDES, WA. **O Movimento da qualidade no Brasil**. 2011. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/pdf/Livro_Qualidade.pdf>. Acesso em: 11 maio 2016;

GOMES, FMI. **CEP**. 2010. Disponível em: <<http://www.dequi.eel.usp.br/~fabricio/apostila CEP.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2017.;

MARTINS, PG.; LAUGENI, FP. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2005;

MONTGOMERY, DC. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2004;

OLIVEIRA, GR; MOTTA, MEV da; CAMARGO, ME; TONDOLO, VAG; ZANANDREA, G; RUSSO, SL. **REDUÇÃO DOS CUSTOS DA QUALIDADE COM MELHORIA DOS PROCESSOS: UM ESTUDO DE CASO**. *Geintec*, São Cristóvão, v. 2, n. 6, p.3241-3256, fev. 2016. Disponível em: <<http://www.revistageintec.net/portal/index.php/revista/article/view/921/701>>. Acesso em: 09 out. 2016.;

SLACK, N; JOHNSTON, R; CHAMBERS, SA. **Administração da Produção**: Edição Compacta. São Paulo: Atlas, 2009. 526 p.

ANEXO A – Fatores para a determinação dos limites de controle

Tabela 7 - Fatores para a determinação dos limites de controle

Tamanho da Amostra n	A ₂	D ₃	D ₄
2	1,88	0	3,267
3	1,023	0	2,575
4	0,729	0	2,282
5	0,577	0	2,115
6	0,483	0	2,004
7	0,419	0,076	1,924
8	0,373	0,136	1,864
9	0,337	0,184	1,816
10	0,308	0,223	1,777
12	0,266	0,284	1,719





14	0,235	0,329	1,671
16	0,212	0,364	1,636
18	0,197	0,392	1,608
20	0,18	0,141	1,586
22	0,167	0,434	1,566
24	0,157	0,452	1,548

Fonte: Adaptado de SLACK; JOHNSTON; CHAMBERS, 2009

