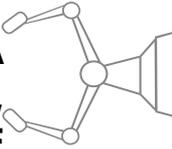


# SEIS SIGMA COMO ESTRATÉGIA COMPETITIVA VOLTADA À REDUÇÃO DE PERDAS, CUSTOS E TEMPO DE PRODUÇÃO: ESTUDO DE CASO DE UMA INDÚSTRIA DE COMPONENTES METÁLICOS



**Thales Botelho de Sousa**  
thales.botelho@ifsp.edu.br - IFSP

**Luiz Adalberto Philippsen Júnior**  
luiz.philippsen@fau.ufal.br - UFAL

**Resumo:** Dentre as estratégias de melhoria competitiva, o Seis Sigma permite transformar as necessidades dos clientes em projetos de melhoria, com uso de técnicas estatísticas, reduzindo a variabilidade das características de produtos e serviços oferecidos, diminuindo os custos dos processos de produção e resultando em ganhos econômicos. O presente trabalho apresenta, por meio de estudo de caso único, a aplicação do Seis Sigma no processo de produção de uma indústria de fabricação de peças e componentes metálicos. O Seis Sigma permitiu identificar e eliminar as perdas do processo de produção, identificando cada fase, com utilização dos métodos *Define, Measure, Analyze, Improve and Control* – DMAIC e *Failure Mode and Effect Analysis* – FMEA e suporte complementar de cartas de controle, fluxogramas e rodadas de *brainstorming*. Sua implementação proporcionou a redução do índice *Defects Per Million Opportunities* – DPMO, então caracterizado por uma organização não competitiva (DPMO > 300.000) para DPMO não superior à 40.000 e peças dentro do Limite Inferior de Especificação – LIE e Limite Superior de Especificação – LSE. As ações de melhoria contribuíram para a redução em 44,58% do tempo médio de produção de cada peça metálica. O estudo de caso mostra o potencial do Seis Sigma para a redução de custos, otimização dos processos, aumento do retorno financeiro e desenvolvimento profissional dos trabalhadores nas organizações. Os métodos complementares utilizados na pesquisa, como DMAIC, FMEA, cartas de controle, fluxogramas e rodadas de *brainstorming* são fundamentais para a correta formulação e condução das ações corretivas das etapas de produção.

**Palavras-chave:** Seis Sigma, DMAIC, Qualidade, Processo Produtivo, Estudo de Caso.

**Abstract:** *As part of competitive advantage strategies, Six Sigma enhance customer needs into improvement projects, using statistical techniques, reducing characteristics of products and services variability, reducing production costs, and resulting in economic gains. Through a single case study, this paper addresses the conduction of Six Sigma in the production process of a manufacturing metallic pieces and components industry. Six Sigma enabled identifying and eliminating losses in the production process, identifying each phase, using Define, Measure, Analyze, Improve and Control – DMAIC and Failure Mode and Effect Analysis – FMEA methods and complementary support of control charts, flowcharts, and brainstorming. The implementation of Six Sigma provided a Defects Per Million Opportunities – DPMO index reduction, at that moment characterized by a non-competitive organization (DPMO > 300,000) to a not exceeding 40,000 DPMO index and pieces within Lower Specification Limit – LSL and Upper Specification Limit – USL. The improvement actions also contributed to a 44.58% reduction in the average production*

*time for each metallic piece. The case study shows the potential of Six Sigma in reducing costs, optimizing processes, and increasing the economic return and professional development of workers in organizations. The complementary methods used in the research, such as DMAIC, FMEA, control charts, flowcharts, and brainstorming, are central for the correct formulation and conduction of corrective actions in the production stages.*

**Keywords:** Six Sigma, DMAIC, Quality, Production Process, Case Study.

**Resumen:** *Para aumentar, las organizaciones apuntan a mejoramiento de calidad en sus procesos de producción. Como parte de las estrategias de ventaja competitiva, Seis Sigma mejora las necesidades del cliente en proyectos de mejoramiento, utilizando técnicas estadísticas, reduciendo las características de la variabilidad de los productos y servicios, reduciendo los costos de producción que resultan en ganancias económicas. Este documento aborda, a través de un único caso de estudio, la conducción de Seis Sigma en el proceso de producción de una industria de fabricación de piezas y componentes metálicos. Seis Sigma permitió la identificación y eliminación de pérdidas en el proceso de producción, identificando cada fase, utilizando los métodos Define, Measure, Analyse, Improve and Control – DMAIC y Failure Mode and Effect Analysis – FMEA con soporte complementario de diagramas de control, diagramas de flujo y tormenta de ideas. La implementación de Seis Sigma proporcionó una reducción del índice Defects Per Million Opportunities – DPMO, en ese momento caracterizada por una organización no competitiva (DPMO >300.000) a un índice DPMO no superior a 40.000 y piezas dentro del Límite Inferior de Especificación – LIE y Límite Superior de Especificación – LSE. Las acciones de mejoramiento también contribuyeron a una reducción de 44,58% en el tiempo medio de producción de cada pieza metálica. El caso de estudio muestra el potencial de Seis Sigma para reducir costos, optimizar procesos, incrementar el retorno económico y el desarrollo profesional de los trabajadores en las organizaciones. Los métodos complementarios utilizados en la investigación, como DMAIC, FMEA, diagramas de control, diagramas de flujo y tormenta de ideas son centrales para la correcta formulación y conducción de acciones correctivas en las etapas de producción.*

**Palabras clave:** Seis Sigma, DMAIC, Calidad, Procesos de Producción, Caso de Estudio.

## 1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, com crescente concorrência global entre empresas, a sobrevivência em um mercado com rápidas mudanças é crucial, assim como buscas por desenvolvimentos de estratégias são cada vez mais comuns (TSAROUHAS, 2021). A qualidade do produto e a confiabilidade da entrega são fatores essenciais para o sucesso de uma indústria manufatureira (COLLEDANI *et al.*, 2014).

Os efeitos positivos da gestão da qualidade convenceram muitas empresas a implementarem sistemas de gerenciamento da qualidade e desenvolverem metodologias e ferramentas (GRAAFMANS *et al.*, 2020). Para Ahmed, Page e Olsen (2020), após a onda da Gestão da Qualidade Total do início dos anos 1980, a metodologia Seis Sigma pode ser vista como a fase mais avançada da evolução da gestão da qualidade. De acordo com Fahey, Jeffers e Carroll (2020), o Seis Sigma foi projetado pela Motorola no final da década de 1980, a fim de reduzir a taxa defeitos para menos de 3,4 partes por milhão no setor industrial, identificando e eliminando variações em seus processos. Segundo Tsarouhas (2021), o Seis Sigma tornou-se parte da gestão empresarial e pode oferecer vantagem competitiva sobre outras empresas, sendo implementada como uma ferramenta eficiente para a melhoria da qualidade em empresas industriais de todos os portes e de setores

distintos. Linderman *et al.* (2003) afirmam que desde o início de sua adoção, os impactos da implantação do Seis Sigma na indústria são profundos, apresentando como exemplo o fato de que em 1999 a General Electric gastou mais de meio bilhão de dólares em iniciativas Seis Sigma e recebeu mais de dois bilhões de benefícios no ano fiscal.

De acordo com Fahey, Jeffers e Carroll (2020), métodos estatísticos baseados no Seis Sigma fornecem uma abordagem estruturada para identificar as causas raízes dos defeitos de produção. O método *Define, Measure, Analyze, Improve and Control* (DMAIC) é fundamental na implantação do Seis Sigma em projetos de melhoria da qualidade (CHERRAFI *et al.*, 2016; DE MAST; LOKKERBOL, 2012; SUNDER M; MAHALINGAM; KRISHNA M, 2020). Para Fahey, Jeffers e Carroll (2020), além do DMAIC, o Seis Sigma emprega ferramentas padrão da qualidade tais como mapeamento do processo, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) ou análise dos modos de falha e seus efeitos, *brainstorming* estruturado da causa e efeito no Controle Estatístico do Processo (CEP).

Após pouco mais de três décadas de aplicação prática e experiência industrial, o Seis Sigma é tido como um dos mais populares orientadores da gestão, coexistindo com muitas outras ferramentas da qualidade nas empresas (NG; HEMPEL, 2020). Metan *et al.* (2020) afirmam que além da General Electric, outras empresas obtiveram ganhos significativos com a adoção do Seis Sigma, tais como a Motorola (16 bilhões de dólares), JP Morgan Chase (1,5 bilhão), Honeywell (600 milhões) e Johnson & Johnson (500 milhões). Tendo em vista o sucesso da aplicação da metodologia no mundo todo, o presente trabalho tem por objetivo apresentar por meio de um estudo de caso a aplicação do Seis Sigma, alicerçada pelo método DMAIC, CEP e algumas ferramentas para o aprimoramento da qualidade no processo produtivo de um produto fornecido por uma empresa fabricante de peças e componentes metálicos, situada no interior do estado de São Paulo.

O restante deste trabalho é estruturado da seguinte maneira: a seção 2 descreve o procedimento técnico utilizado para desenvolver a pesquisa, a seção 3 apresenta os resultados obtidos através da aplicação do Seis Sigma na empresa objeto de estudo, e por fim, a última seção apresenta as conclusões relacionadas ao estudo.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Seis Sigma

A qualidade dos produtos e a confiabilidade da entrega são fatores essenciais para o sucesso da indústria manufatureira e muitas empresas do setor lutam arduamen-

te para reduzir ou eliminar os índices de rejeição de seus produtos, usando diferentes ferramentas de Gestão da Qualidade para se manterem competitivas no mercado. A metodologia Seis Sigma representa uma das ferramentas mais poderosas e reconhecidas para acelerar as melhorias em produtos, serviços e todos os tipos de processos, bem como para aumentar a competitividade de uma organização (SAJJAD *et al.*, 2021); sendo um processo de mudança organizacional que tem impacto positivo no aprendizado e na gestão do conhecimento (MARZAGÃO; CARVALHO, 2016).

A metodologia Seis Sigma visa a melhoria de processos estratégicos e desenvolvimento de novos produtos e serviços (GOMES; MARQUES; GUERRINI, 2017), sendo um método organizado e sistemático para a melhoria de processos e desenvolvimento de novos produtos e serviços, usando técnicas estatísticas e científicas para reduzir defeitos definidos pelos clientes, bem como características e recursos específicos complementares a uma plataforma comum de conhecimentos, práticas e recursos da Qualidade para aumento de efetividade (MARZAGÃO; CARVALHO, 2016). O Seis Sigma é uma estratégia de negócio baseada na tomada de decisão objetiva e na resolução de problemas, considerando dados significativos e reais para a criação de metas viáveis, analisando a causa dos defeitos e sugerindo formas de eliminar a lacuna existente entre o desempenho alcançado por um processo e o desempenho desejado (POHLMANN *et al.*, 2015).

Segundo Antony e Banuelas (2002), uma ideia fundamental por trás do Seis Sigma é reduzir continuamente a variação nos processos e eliminar defeitos ou falhas de cada produto, serviço e processo transacional, e, sendo assim, definindo-o em termos estatísticos e de negócios. Em termos de negócios, o Seis Sigma é uma estratégia de melhoria usada para alavancar a lucratividade, eliminar desperdícios, reduzir custos de qualidade e melhorar a eficácia e eficiência de todas as operações que atendam ou até mesmo excedam as necessidades e expectativas dos clientes. Em termos estatísticos, o Seis Sigma é um termo que se refere a 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO), onde “sigma” é o termo usado para representar a variação sobre a média do processo (ANTONY; BANUELAS, 2002).

Embora o objetivo original do Seis Sigma fosse focar no processo de manufatura, hoje, as funções de *marketing*, compras, cobrança e faturamento também estão embarcadas em estratégias Seis Sigma, a fim de reduzir continuamente os defeitos em todos os processos da organização (ANTONY; BANUELAS, 2002). Esta metodologia tem foco incansável na redução da variação e na eliminação de desperdícios para melhorar o processo, reduzir a variação e aumentar a competitividade (SAJJAD *et al.*, 2021).

Além de sua estrutura de funções e foco em métricas, o procedimento de melhoria estruturada no Seis Sigma é visto como uma contribuição nova e eficaz para a Gestão da Qualidade (DE MAST; LOKKERBOL, 2012; LEMKE *et al.*, 2021). De acordo com Kregel

*et al.* (2021), o Seis Sigma é uma das filosofias de Gestão da Qualidade e de melhoria de processos mais populares e bem-sucedidas dos últimos 20 anos.

A Motorola foi a primeira organização a usar o termo Seis Sigma na década de 1980 como parte de seu programa de medição e melhoria de desempenho de qualidade (KWAK; ANBARI, 2006). Sendo desenvolvido pela Motorola no enfrentamento a ameaça japonesa na indústria eletrônica (GOMES; MARQUES; GUERRINI, 2017). Em meados dos anos 1980 a Motorola encontrava-se em crise, pois as insatisfações e frustrações dos clientes cresciam como uma epidemia, motivadas principalmente por um sistema produtivo que não previa a satisfação do consumidor e pela baixa qualidade dos produtos (POHLMANN *et al.*, 2015).

O envolvimento específico da Motorola com o Seis Sigma começou em 1982, quando ela implementou um programa de melhoria da qualidade com foco na fabricação. O CEO da empresa pediu a seus gerentes corporativos que cortassem os custos de qualidade pela metade naquele ano, repetindo a meta em 1983. Em 1984, os esforços de redução de custos estavam começando a apontar para a necessidade de métodos analíticos aprimorados e projeto de produto para melhoria contínua do processo (HENDERSON; EVANS, 2000).

Os elevados custos operacionais e a perda da participação no mercado frente aos produtos japoneses comprometiam a saúde financeira da Motorola. Para resolver este problema, em 1986 os engenheiros Bill Smith e Bob Galvin desenvolveram a metodologia Seis Sigma. Em decorrência da análise dos processos internos da empresa, concluiu-se que grande parte do custo de fabricação estava associada às perdas e às falhas na produção, resultando em um acréscimo no preço final dos produtos (LEMKE *et al.*, 2021; POHLMANN *et al.*, 2015). Durante um período de 3 anos, a Motorola gastou US\$ 170 milhões em educação e treinamento de trabalhadores, e com o sucesso do Seis Sigma, a empresa economizou US\$ 2,2 bilhões em termos de custo de baixa qualidade, sendo homenageada com o Prêmio Malcom Baldrige em 1988 (ANTONY, 2006).

Com o sucesso da sua aplicação na Motorola, o Seis Sigma tem sido implantado em diversas empresas ao redor do mundo desde então, com destaque para organizações de manufatura como General Electric, Boeing, DuPont, Toshiba, Seagate, Allied Signal, Kodak, Honeywell, Texas Instruments, Caterpillar, Johnson Controls, Sony etc. (ANTONY; BANUELAS, 2002; KWAK; ANBARI, 2006; ZU; ROBBINS; FREDENDALL, 2010). Como grande exemplo do sucesso da metodologia em empresas prestadoras de serviços, o Seis Sigma permitiu que a JP Morgan Chase reduzisse as falhas em seus processos voltados para o cliente, como abertura de conta, tratamento de pagamentos e pedidos de talão de cheques, resultando no aumento da satisfação do cliente e na melhoria da eficiência e dos tempos de ciclo em mais de 30% (ANTONY, 2006).

Dentre os principais fatores críticos de sucesso na implantação do Seis Sigma em organizações, é possível citar a liderança e participação da alta administração, planejamento estratégico, *benchmarking* competitivo, gerenciamento do processo, desenvolvimento dos recursos humanos, educação e treinamento, ferramentas da Gestão da Qualidade, informação e análise, foco nos clientes e no mercado, e gerenciamento dos fornecedores (PACHECO, 2014; TRAD; MAXIMIANO, 2009).

## 2.2 DMAIC

Na realização de projetos em equipes aplicados a processos já concluídos e instalados, geralmente o Seis Sigma é desenvolvido por meio do método DMAIC (GOMES; MARQUES; GUERRINI, 2017; POHLMANN *et al.*, 2015). DMAIC é a sigla das etapas *Define, Measure, Analyze, Improve and Control* - definir, medir, analisar, melhorar e controlar, em tradução livre. O DMAIC tem funções semelhantes às de seus predecessores na solução de problemas industriais, como o método *Plan, Do, Check and Act* (PDCA), ou planejar, fazer, verificar e agir, em português; e o método dos sete passos de Juran e Gryna (DE MAST; LOKKERBOL, 2012).

O DMAIC é a espinha dorsal dos esforços para melhoria baseados no Seis Sigma, não determina necessariamente o final do projeto, mas fornece um roteiro para a eliminação das falhas e para a melhoria contínua (POHLMANN *et al.*, 2015), sendo aplicado em processos existentes quando as causas dos problemas não são conhecidas ou não estão claras (GOMES; MARQUES; GUERRINI, 2017).

A etapa de definição visa definir o problema de forma sucinta e específica na perspectiva do cliente, buscando por fatos e dados e identificando o gestor do processo principal e a equipe do projeto (GALVANI; CARPINETTI, 2013). A equipe levantada identifica os melhores projetos Seis Sigma com base nos objetivos estratégicos, e, após isso, determina o que é crítico para qualidade na ótica dos clientes (MERGULHÃO; MARTINS, 2008).

A etapa de medição visa determinar o desempenho atual do processo de serviços e decidir o que medir e como medir (GALVANI; CARPINETTI, 2013). Nesta etapa, a equipe seleciona as características de qualidade mais adequadas a serem melhoradas e estabelece o que é desempenho inaceitável ou defeito em tais características (ANTONY; BANUELAS, 2002).

A etapa de análise visa entender as variáveis dos processos principais que podem levar aos defeitos, a natureza dos dados e a existência de padrões de variação para convergir para a causa raiz (GALVANI; CARPINETTI, 2013). Aplicando métodos estatísticos, a equipe do projeto procura identificar as principais causas da variação do processo que geram não-conformidades por meio de análises do desempenho do processo (MERGULHÃO; MARTINS, 2008).

A etapa de melhoria visa desenvolver soluções potenciais para eliminar ou então controlar a causa raiz do defeito, prevenindo a reocorrência, e avaliando o impacto de cada solução potencial pelo custo e benefício (GALVANI; CARPINETTI, 2013). Para alguns processos, várias rodadas de melhorias podem ser necessárias para atingir o desempenho ou capacidade do processo desejado (ANTONY; BANUELAS, 2002).

A etapa de controle visa confirmar que as ações corretivas e preventivas adotadas garantem a sustentabilidade dos resultados obtidos na fase de melhoria, além de desenvolver novos padrões para assegurar ganhos de longo prazo e padronizar as ações, atualizando a documentação existente e identificando o dono do processo para estabelecer as novas regras de controle (GALVANI; CARPINETTI, 2013). A equipe do projeto aplica técnicas e métodos estatísticos e da Gestão da Qualidade para garantir a estabilidade estatística do processo dentro de limites aceitáveis (MERGULHÃO; MARTINS, 2008).

No rol de principais ferramentas e técnicas estatísticas usadas no DMAIC, é possível destacar as estatísticas descritivas, princípios de amostragem, gráficos de controle, análise de capacidade do processo, análise do sistema de medição, gráficos básicos (histograma, dispersão, box-plot, Diagrama de Pareto etc.), diagrama de causa e efeito, controle estatístico do processo, projeto de experimentos, correlação e regressão linear, regressão múltipla, testes de hipóteses, intervalo de confiança, análise de variância, análise de capacidade de processo etc. (SANTOS; ANTONELLI, 2011). Estas ferramentas e técnicas podem ser complementadas por outros métodos de enfoque em processo e qualidade, tais como mapa de processos, *Quality Function Deployment* (QFD) ou desdobramento da função qualidade, e *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) ou análise de modo e efeito da falha.

### 3. METODOLOGIA

Quanto à natureza, esta pesquisa pode ser classificada como aplicada, pois de acordo com Turrioni e Mello (2012), tem como finalidade gerar conhecimentos para aplicação prática, direcionados para a resolução de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais.

De acordo com a abordagem, a pesquisa pode ser classificada como qualitativa. De acordo com Bernardes, Muniz Júnior e Nakano (2019), em uma definição ampla, a pesquisa qualitativa (também conhecida como pesquisa interpretativa) visa compreender o ponto de vista daqueles que estão envolvidos na situação sob investigação, a fim de interpretar os significados que eles atribuem à situação ou evento estudado. Para desenvolvê-la no âmbito da engenharia de produção, o pesquisador deve visitar a organização objeto de estudo fazendo observações e coletando evidências dos fatos estudados (MARTINS, 2012).

Com base nos seus objetivos, a pesquisa é classificada como exploratória e explicativa. De acordo com Gil (2010) as pesquisas exploratórias visam proporcionar maior familiaridade com o problema, a fim de torná-lo mais explícito ou constituir hipóteses, e na visão de Miguel e Sousa (2012) deve ser utilizada quando o tema não se encontra bem formulado ou é emergente. Já as pesquisas explicativas visam identificar os fatores que determinam ou contribuem para a incidência de determinadas circunstâncias, procurando explicar o porquê dos fatos (SILVEIRA; CÓRDOVA, 2009).

Com relação ao procedimento técnico, este trabalho foi desenvolvido por meio de um estudo de caso único, realizado em uma empresa de pequeno porte fabricante de peças e componentes metálicos, situada no interior do estado de São Paulo e aqui denominada como Empresa X. Justifica-se a escolha de um único caso pelo fato de tal procedimento técnico proporcionar maior riqueza nos detalhes analisados (BEVERLAND; LINDGREEN, 2010), permitindo que o pesquisador capte melhor contexto dentro do qual os fenômenos em estudo ocorrem (BARRATT; CHOI; LI, 2011) e ser adequado para as fases iniciais da natureza exploratória de um trabalho de pesquisa (MONDRAGON; MONDRAGON; CORONADO, 2017).

Para a elaboração do estudo de caso, foram feitas visitas às instalações da organização, bem como aplicados questionários aos responsáveis do setor administrativo e os dados referentes às ordens de fabricação do subcomponente corpo do cilindro foram analisados. Como restrição para a participação nesta pesquisa, os funcionários da Empresa X entrevistados solicitaram que não fossem divulgados dados que poderiam facilitar sua identificação, tais como número de funcionários, produtos comercializados, faturamento, localização etc.

#### **4. APLICAÇÃO DO SEIS SIGMA NA EMPRESA X**

A Empresa X, com a utilização do Seis Sigma, tinha como objetivos a redução e eliminação das perdas no processo produtivo do corpo do cilindro metálico. Para o desenvolvimento e implantação da metodologia foram realizadas as seguintes etapas, correspondentes às fases do DMAIC:

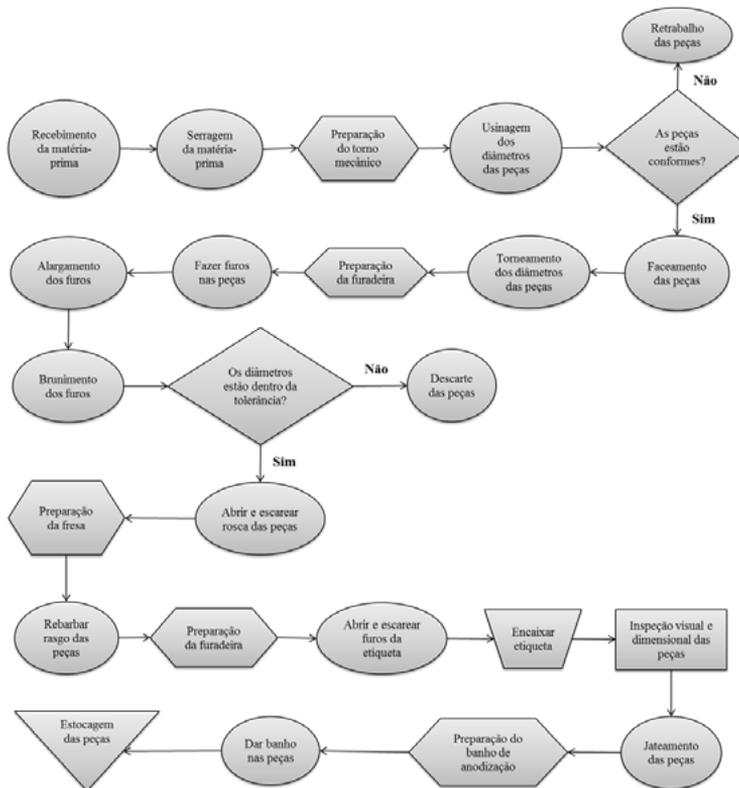
1. Definir o problema de corpos do cilindro não conformes na linha de produção e as metas estabelecidas pela direção da empresa;
2. Mensurar os dados por meio da elaboração de gráficos e tabelas para ilustrar os resultados, com vistas a medir o desempenho atual do processo;
3. Analisar os resultados atuais, para detectar a raiz dos problemas e verificar as prováveis oportunidades, a partir das situações encontradas na definição e mensuração;

4. Propor a implementação de melhorias nas não conformidades encontradas no processo;
5. Controlar o processo, para assegurar a manutenção das melhorias ao longo do tempo.

#### 4.1 Fase de definição

Na época em que o estudo de caso foi realizado, a Empresa X funcionava durante 5 dias na semana, com carga horária de 45 horas e produzia em média 300 corpos do cilindro por ano, geralmente em duas rodadas de produção, que com relação ao tempo variam de acordo com as demandas. Para uma melhor compreensão do estudo, foi elaborado um fluxograma do processo produtivo na situação encontrada antes da implantação das ações de melhoria, o qual permitiu obter uma visão geral do processo, na qual os detalhes foram agregados por meio de uma representação gráfica ilustrativa das etapas, conforme demonstra a Figura 1.

**Figura 1:** Fluxograma do processo produtivo do corpo do cilindro antes da implantação das ações de melhoria.



Fonte: Elaborado pelos autores, com base nos dados do estudo de caso.

A meta estabelecida pela direção da empresa com a aplicação do Seis Sigma no processo produtivo do corpo do cilindro era reduzir os elevados índices de perdas ocasionadas no processo produtivo, o que é mais bem apresentado na etapa de medição.

## 4.2 Fase de medição

Para a mensuração das perdas nos processos, foram analisados os documentos referentes aos últimos lotes de produção do corpo do cilindro, visando obter o percentual de peças que eram descartadas no processo produtivo, pois não atendiam aos padrões de qualidade exigidos.

A quantidade de peças descartadas em cada lote de produção analisado antes da implantação das ações de melhoria pode ser visualizada na Tabela 1. De posse da quantidade de peças descartadas pode-se ter noção dos índices de Defeitos Por Milhão de Oportunidades (DPMO) do processo e de acordo com os dados da Tabela 2, verificar a competitividade do setor.

**Tabela 1:** Quantidade de peças descartadas em cada lote de produção.

Lote de produção	Total de peças produzidas	Total de peças aprovadas	Total de peças descartadas	DPMO
008-1	150	90	60	400.000
008-2	100	70	30	300.000
008-3	150	100	50	333.333
009-1	47	21	26	553.191

Fonte: Elaborado pelos autores, com base nos dados do estudo de caso.

**Tabela 2:** Relação entre o nível sigma e a respectiva posição competitiva da organização.

Nível Sigma	DPMO	Posição competitiva
1	697.672,15	Organização não competitiva
2	308.770,21	
3	66.810,63	Organização dentro da média mundial
4	6.209,79	
5	232,67	Organização de classe mundial
6	3,4	

Fonte: Adaptado de Carvalho (2002).

O lote de produção 009-1, em relação aos demais, teve uma diferença bastante significativa com relação à quantidade de peças produzidas, reflexo da variação da demanda. Com base nos dados referentes às medições do diâmetro das peças do lote de

produção 009-1 e a fim de determinar se o processo era estável, foi construído um gráfico de controle para variáveis, para verificar se o processo necessitava de ações de melhoria. Para isso, foi utilizado o gráfico da média e desvio padrão ( $\bar{x}$ -barra e  $s$ ), pois de acordo com Ramos (2011), o mesmo deve ser utilizado quando amostras de tamanho  $n > 10$  estiverem disponíveis. Foram coletados os dados referentes às medições das 47 peças do lote de produção 009-1, visando verificar o desvio padrão do diâmetro das peças, bem como os índices de capacidade e capabilidade do lote. Para o cálculo dos limites de controle do lote de produção 009-1, o coeficiente A3 assumiu um valor de 0,606, pois a amostra tem tamanho maior ou igual a 25 (PYZDEK; KELLER, 2011). Os dados referentes às medições são constantes na Tabela 3. Já a Figura 2 apresenta os dados relativos à carta de controle do lote de produção 009-1.

**Tabela 3:** Valores dos diâmetros das peças do lote de produção 009-1.

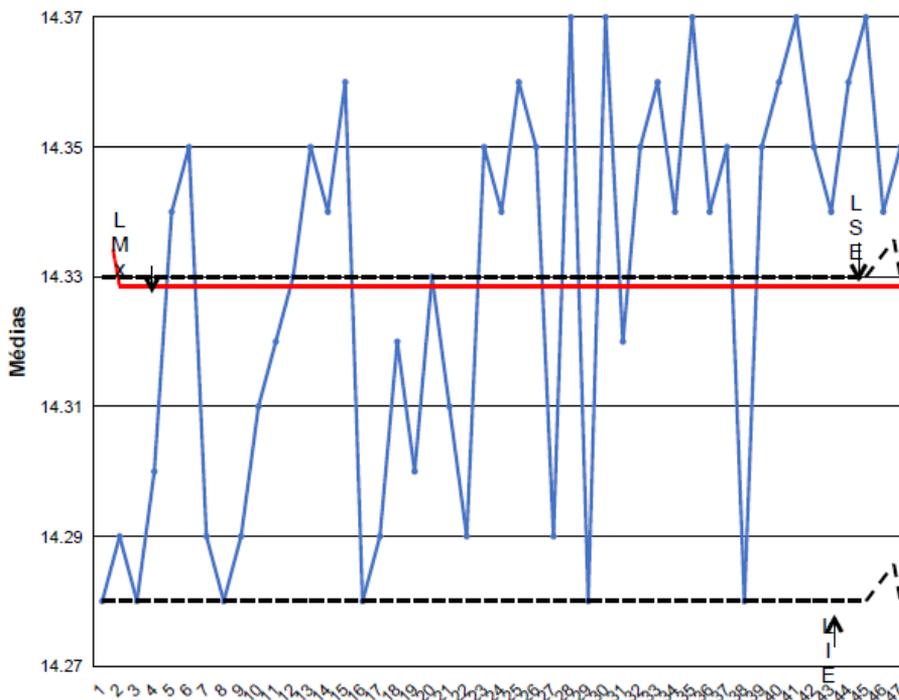
Peça	Diâmetro	$\bar{x}$ -barra	
1	14,28	14,328511	0,00402612
2	14,29	14,328511	0,00402612
3	14,28	14,328511	0,00402612
4	14,30	14,328511	0,00402612
5	14,34	14,328511	0,00402612
6	14,35	14,328511	0,00402612
7	14,29	14,328511	0,00402612
8	14,28	14,328511	0,00402612
9	14,29	14,328511	0,00402612
10	14,31	14,328511	0,00402612
11	14,32	14,328511	0,00402612
12	14,33	14,328511	0,00402612
13	14,35	14,328511	0,00402612
14	14,34	14,328511	0,00402612
15	14,36	14,328511	0,00402612
16	14,28	14,328511	0,00402612
17	14,29	14,328511	0,00402612
18	14,32	14,328511	0,00402612
19	14,30	14,328511	0,00402612
20	14,33	14,328511	0,00402612
21	14,31	14,328511	0,00402612
22	14,29	14,328511	0,00402612
23	14,35	14,328511	0,00402612
24	14,34	14,328511	0,00402612
25	14,36	14,328511	0,00402612
26	14,35	14,328511	0,00402612
27	14,29	14,328511	0,00402612
28	14,37	14,328511	0,00402612
29	14,28	14,328511	0,00402612

continua >

Peça	Diâmetro	x-barra	
30	14,37	14,328511	0,00402612
31	14,32	14,328511	0,00402612
32	14,35	14,328511	0,00402612
33	14,36	14,328511	0,00402612
34	14,34	14,328511	0,00402612
35	14,37	14,328511	0,00402612
36	14,34	14,328511	0,00402612
37	14,35	14,328511	0,00402612
38	14,28	14,328511	0,00402612
39	14,35	14,328511	0,00402612
40	14,36	14,328511	0,00402612
41	14,37	14,328511	0,00402612
42	14,35	14,328511	0,00402612
43	14,34	14,328511	0,00402612
44	14,36	14,328511	0,00402612
45	14,37	14,328511	0,00402612
46	14,34	14,328511	0,00402612
47	14,35	14,328511	0,00402612

Fonte: Elaborado pelos autores, com base nos dados do estudo de caso.

**Figura 2:** Carta de controle do lote de produção 009-1.



Fonte: Elaborado pelos autores, com base nos dados do estudo de caso.

Pela análise da Figura 2 e com base nos limites de engenharia especificados para o produto, pode-se afirmar que o processo não atende aos padrões de qualidade exigidos, uma vez que os limites de tolerância exigidos devem estar situados entre 14,28 e 14,33mm. O limite superior de controle ultrapassa o limite superior de engenharia.

### 4.3 Fase de análise

A partir das informações obtidas a respeito das perdas nos processos, buscou-se analisar quais são as causas desses problemas, bem como quais as melhores soluções para resolvê-los, valendo-se para isso, a utilização das ferramentas *brainstorming* e FMEA.

Foram revisadas todas as etapas do processo produtivo e levantadas com toda a equipe responsável pela implantação do Seis Sigma na linha de produção as principais causas que impactavam a qualidade exigida no processo produtivo dos corpos do cilindro. Por meio da aplicação da ferramenta FMEA, foi constatado que o problema de maior prioridade, e que necessita de solução imediata, é o alargamento do diâmetro de 14,28 mm, pois valores fora dos limites de engenharia especificados para essa dimensão ocasionam sérios danos no produto final do qual o corpo do cilindro é componente. A Tabela 4 apresenta o FMEA implantado no processo produtivo do corpo do cilindro.

**Tabela 4:** FMEA elaborado no processo produtivo do corpo do cilindro.

Etapa do processo	Modo de falha	Ocorrência	Severidade	Deteção	RPN
Serragem da matéria-prima	Medidas incorretas	2	2	1	4
Preparação do torno mecânico	Referenciar medidas incorretas	2	4	4	32
Usinagem dos diâmetros da peça	Medidas incorretas	4	4	4	64
Facear as peças	Facear incorretamente	2	1	1	2
Tornear diâmetros	Tornear incorretamente	2	7	1	14
Abrir furos	Abrir furos com medidas fora da especificação	2	7	1	14
Alargar furos	Ultrapassar os limites de tolerância	9	10	9	810
Brunir diâmetros	Ultrapassar os limites de tolerância	2	10	2	40
Fazer roscas	Fazer roscas fora da especificação do projeto	5	8	1	40
Abrir e fazer furos da etiqueta	Abrir e fazer furos com medidas fora da especificação	2	2	1	4

continua >

Etapa do processo	Modo de falha	Ocorrência	Severidade	Detecção	RPN
Encaixar etiqueta	Encaixar etiqueta inadequadamente	2	8	1	16
Inspecionar as peças	Inspeção inadequada	3	3	7	63
Jatear as peças	Jatear inadequadamente	2	2	6	24
Dar banho de anodização nas peças	Dar banho inadequado	1	1	1	1

Fonte: Elaborado pelos autores, com base nos dados do estudo de caso.

Já a Tabela 5 apresenta as principais ações recomendadas para solucionar os principais modos de falha do processo produtivo dos corpos do cilindro.

**Tabela 5:** Ações recomendadas para solucionar as falhas do processo produtivo do corpo do cilindro.

Etapa do processo	Modo de falha	RPN	Ação recomendada
Serragem da matéria-prima	Medidas incorretas	4	Padronizar tamanho a ser serrado
Preparação do torno mecânico	Referenciar medidas incorretas	32	Proporcionar treinamento adequado para o funcionário
Usinagem dos diâmetros da peça	Medidas incorretas	64	Substituir processo
Facear as peças	Facear incorretamente	2	Proporcionar treinamento adequado para o funcionário
Tornear diâmetros	Tornear incorretamente	14	Substituir processo
Abrir furos	Abrir furos com medidas fora da especificação	14	Definir limites de tolerância
Alargar furos	Ultrapassar os limites de tolerância	810	Substituir processo
Brunir diâmetros	Ultrapassar os limites de tolerância	40	Padronizar o processo de brunimento
Fazer roscas	Fazer roscas fora da especificação do projeto	40	Padronizar o processo e proporcionar treinamento adequado para o funcionário
Abrir e fazer furos da etiqueta	Abrir e fazer furos com medidas fora da especificação	4	Padronizar o processo
Encaixar etiqueta	Encaixar etiqueta inadequadamente	16	Proporcionar treinamento adequado para o funcionário
Inspecionar as peças	Inspeção inadequada	63	Proporcionar treinamento adequado para o funcionário
Jatear as peças	Jatear inadequadamente	24	Proporcionar treinamento adequado para o funcionário
Dar banho de anodização nas peças	Dar banho inadequado	1	-

Fonte: Elaborado pelos autores, com base nos dados do estudo de caso.

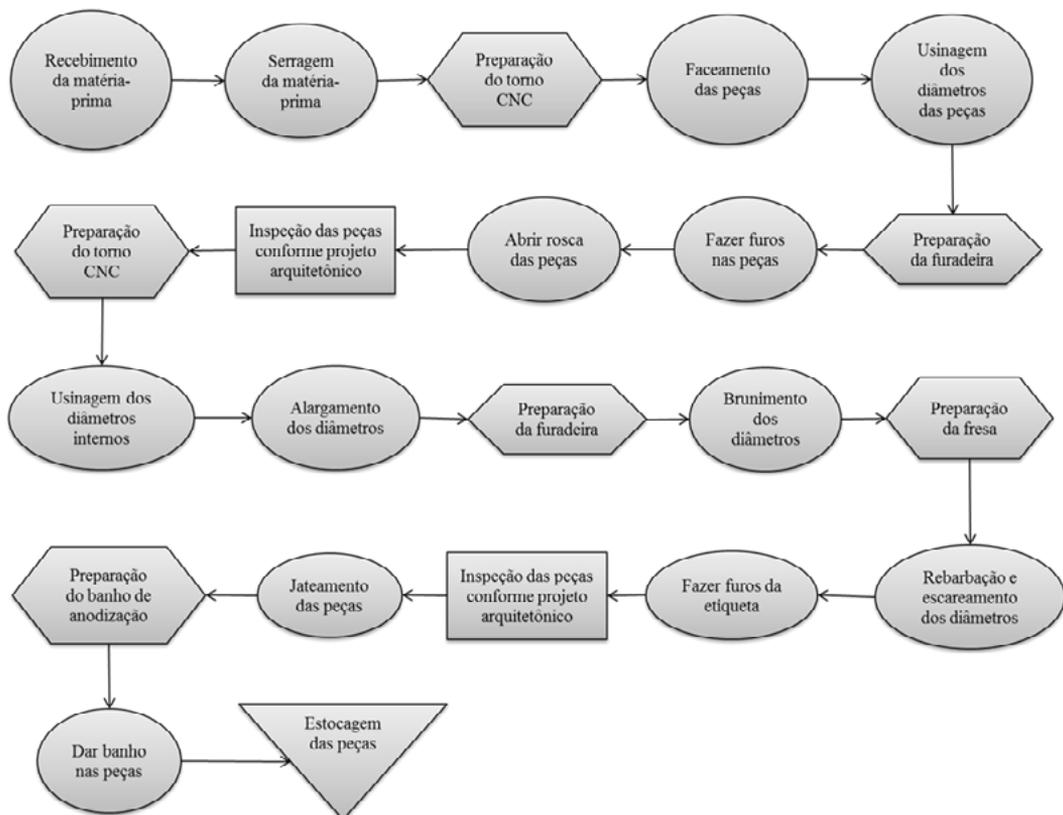
Assim, com base no FMEA elaborado, e com base na experiência dos funcionários, foi proposta a modificação do processo produtivo, valendo-se da utilização de máquinas mais precisas e modernas e sendo revisadas todas as suas etapas.

#### 4.4 Fase de implementação

Como a principal causa de defeitos nos corpos do cilindro estava relacionada à etapa de alargamento do furo, conforme informações obtidas com os funcionários e com base nos índices de Cpk obtidos no lote de produção 009-1, foi verificado que havia a necessidade de remodelar o processo produtivo, sendo as etapas de usinagem efetuadas não mais em um torno convencional, mas sim em um torno CNC.

A Figura 3 apresenta o fluxograma do processo produtivo definido após a implementação das ações de melhoria.

**Figura 3:** Fluxograma do processo produtivo do corpo do cilindro após a implantação das ações de melhoria.



Fonte: Elaborado pelos autores, com base nos dados do estudo de caso.

## 4.5 Fase de controle

Após a modificação do processo produtivo, e para efeito de comparação da eficiência do processo produtivo antes e após a implementação das melhorias, foram efetuadas coletas do desempenho dos lotes de produção fornecidos após a remodelagem. Os dados referentes ao desempenho e aos índices de DPMO podem ser visualizados na Tabela 6.

**Tabela 6:** Quantidade de peças descartadas em cada lote de produção após a modificação do processo produtivo.

Lote de produção	Total de peças produzidas	Total de peças aprovadas	Total de peças descartadas	DPMO
009-2	80	80	0	0
009-3	25	24	1	40.000
010-1	50	48	2	40.000
010-2	40	40	0	0
010-3	150	146	4	26.667
011-1	150	145	5	33.333
011-2	209	206	3	14.354
012-1	150	146	4	26.667
012-2	150	150	0	0

Fonte: Elaborado pelos autores, com base nos dados do estudo de caso.

Visualizando a Tabela 6, pode-se verificar que houve um aumento significativo na eficiência do processo produtivo do corpo do cilindro, uma vez que o índice máximo de DPMO obtido após a modificação foi de 40.000, ao passo que antes da implementação das melhorias o índice chegava a 553.191.

A fim de comprovar a eficiência das ações de melhoria, foram coletados os dados referentes às medições das 25 peças do lote de produção 009-3, visando verificar o desvio padrão dos diâmetros das peças, bem como os índices de capacidade e capacidade do lote. Os dados referentes às medições são constantes na Tabela 7. A Figura 4 apresenta os dados relativos à carta de controle do lote de produção 009-3.

**Tabela 7:** Diâmetro das peças do lote de produção 009-3.

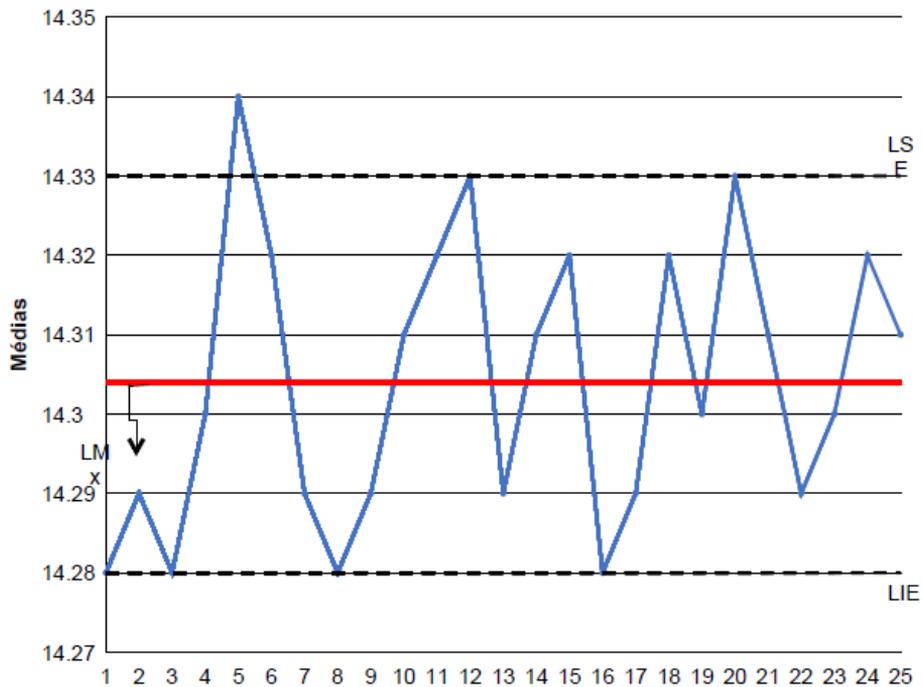
Peça	Diâmetro	X-barra	
1	14,28	14,304	0,003135347
2	14,29	14,304	0,003135347
3	14,28	14,304	0,003135347
4	14,30	14,304	0,003135347
5	14,34	14,304	0,003135347
6	14,32	14,304	0,003135347

continua >

Peça	Diâmetro	X-barra	
7	14,29	14,304	0,003135347
8	14,28	14,304	0,003135347
9	14,29	14,304	0,003135347
10	14,31	14,304	0,003135347
11	14,32	14,304	0,003135347
12	14,33	14,304	0,003135347
13	14,29	14,304	0,003135347
14	14,31	14,304	0,003135347
15	14,32	14,304	0,003135347
16	14,28	14,304	0,003135347
17	14,29	14,304	0,003135347
18	14,32	14,304	0,003135347
19	14,30	14,304	0,003135347
20	14,33	14,304	0,003135347
21	14,31	14,304	0,003135347
22	14,29	14,304	0,003135347
23	14,30	14,304	0,003135347
24	14,32	14,304	0,003135347
25	14,31	14,304	0,003135347

Fonte: Elaborado pelos autores, com base nos dados do estudo de caso.

**Figura 4:** Carta de controle do lote de produção 009-3.



Fonte: Elaborado pelos autores, com base nos dados do estudo de caso.

Analisando a Figura 4, pode-se afirmar que o processo obteve uma melhoria no atendimento aos padrões de qualidade exigidos, uma vez que os limites de superior e inferior de controle estão situados entre 14,28 e 14,33mm (os limites inferior e superior de engenharia, respectivamente).

Como o processo produtivo após a implementação das ações de melhoria passou a alcançar altos índices de qualidade, visando reduzir os custos da inspeção 100%, uma ferramenta de torneamento interno foi desenvolvida, a qual é acoplada no torno CNC para alargar o diâmetro do furo (14,28 +0,05), bem como um brunidor de diâmetro externo 14,33 mm, o qual impede que o diâmetro do furo ultrapasse os limites de tolerância. Assim, apenas 10% do lote de produção fornecido é medido pelo inspetor da qualidade. Caso haja alguma perda, todo o lote é então medido.

A fim de retratar o sucesso da implantação do Seis Sigma no processo produtivo do corpo do cilindro, e com base nos parâmetros definidos por Pyzdek e Keller (2011) foi mensurado o nível sigma de cada lote de produção apresentado nesta pesquisa, o que pode ser visualizado na Tabela 8.

**Tabela 8:** Nível sigma dos lotes de produção do corpo do cilindro analisados nesta pesquisa.

Lote de produção	Total de peças produzidas	Total de peças aprovadas	Total de peças descartadas	DPMO	Nível sigma do processo
008-1	150	90	60	400.000	1,75
008-2	100	70	30	300.000	2,02
008-3	150	100	50	333.333	2,02
009-1	47	21	26	553.191	1,50
009-2	80	80	0	0	6
009-3	25	24	1	40.000	3,25
010-1	50	48	2	40.000	3,25
010-2	40	40	0	0	6
010-3	150	146	4	26.667	3,55
011-1	150	145	5	33.333	3,38
011-2	209	206	3	14.354	3,83
012-1	150	146	4	26.667	3,55
012-2	150	150	0	0	6

Fonte: Elaborado pelos autores, com base nos dados do estudo de caso.

Como pode ser observado na Tabela 8, o índice de DPMO reduziu significativamente após a implementação das ações de melhoria, chegando a ter um índice zero em alguns lotes de produção. Pode-se observar por meio dos resultados deste estudo de caso que houve uma redução significativa na variabilidade do processo, demonstrando assim

que a aplicação do ciclo DMAIC e das ações de melhoria foram eficazes para se alcançar a meta desejada e o bom desempenho do processo produtivo. Porém, é importante ressaltar que o gestor da linha de produção afirmou estar estudando outras possíveis ações de melhoria para alcançar o nível 6 do Seis Sigma em todos os futuros lotes de produção.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos tempos, com a crescente globalização, os padrões de qualidade estão cada vez mais elevados, o que exige das empresas constante utilização de métodos e ferramentas que as auxiliem na adequação a esses padrões, dentre elas o Seis Sigma.

O objetivo do estudo de caso apresentado nesta pesquisa foi a identificação das variáveis que influenciam na incidência de refugos dos corpos do cilindro no processo da linha de produção. Tal meta foi alcançada e demonstrou que a implantação do Seis Sigma com a aplicação do ciclo DMAIC foi essencial para a obtenção de bons resultados na correção dos problemas. Para a análise dos problemas e condução da aplicação da metodologia, foram utilizadas as ferramentas CEP, cartas de controle, fluxogramas, FMEA e *brainstorming*. Observou-se que a causa raiz do problema estava relacionada às etapas de alargamento e brunimento do diâmetro 14,28<sup>+0,05</sup>. Nestas etapas perdiam-se muitas peças, pois eram feitas manualmente, o que dependia muito da habilidade de cada operador.

A implantação da metodologia proporcionou uma redução significativa das perdas de produtos no processo produtivo. Outro parâmetro indicador do sucesso da implantação da metodologia foi o a redução do tempo médio de produção de cada componente. Conforme análise das ordens de fabricação, antes da implantação das ações de melhoria, o tempo médio para se produzir uma peça era de 83 minutos, e após a implantação caiu para 46 minutos, uma redução de 44,58%.

Com o estudo de caso, foi possível concluir que o Seis Sigma é uma metodologia delineada e bem definida de implementação que possui forte ligação com as estratégias da empresa e com a direção, proporciona a redução de custos, otimização dos processos, retorno financeiro, desenvolvimento profissional dos trabalhadores; além de estimular o senso de valorização por parte dos funcionários com sua participação na geração de ideias para a solução de problemas.

## Referências

AHMED, A.; PAGE, J.; OLSEN, J. Enhancing Six Sigma methodology using simulation techniques: Literature review and implications for future research. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 11, n. 1, p. 211-232, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-03-2018-0033>

ANTONY, J. Six sigma for service processes. **Business Process Management Journal**, v. 12, n. 2, p. 234-248, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/14637150610657558>

ANTONY, J.; BANUELAS, R. Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program. **Measuring Business Excellence**, v. 6, n. 4, p. 20-27, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/13683040210451679>

BARRATT, M.; CHOI, T. Y.; LI, M. Qualitative case studies in operations management: Trends, research outcomes, and future research implications. **Journal of Operations Management**, v. 29, n. 4, p. 329-342, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jom.2010.06.002>

BERNARDES, E.; MUNIZ JÚNIOR, J.; NAKANO, D. N. **Pesquisa qualitativa em engenharia de produção e gestão de operações**. São Paulo: Atlas, 2019.

BEVERLAND, M.; LINDGREEN, A. What makes a good case study? A positivist review of qualitative case research published in *Industrial Marketing Management*, 1971-2006. **Industrial Marketing Management**, v. 39, n. 1, p. 56-63, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2008.09.005>.

CARVALHO, M. M. Selecionando projetos Seis Sigma. In: ROTONDARO, R. G. (Coord.). **Seis Sigma: Estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. São Paulo: Atlas, 2002.

CHERRAFI, A. et al. The integration of lean manufacturing, Six Sigma and sustainability: A literature review and future research directions for developing a specific model. **Journal of Cleaner Production**, v. 139, p. 828-846, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.101>.

COLLEDANI, M. et al. Design and management of manufacturing systems for production quality. **CIRP Annals**, v. 63, n. 2, p. 773-796, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2014.05.002>.

DE MAST, J.; LOKKERBOL, J. An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. **International Journal of Production Economics**, v. 139, n. 2, p. 604-614, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.05.035>.

FAHEY, W.; JEFFERS, P.; CARROLL, P. A business analytics approach to augment six sigma problem solving: A biopharmaceutical manufacturing case study. **Computers in Industry**, v. 116, e103153, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.103153>.

GALVANI, L. R.; CARPINETTI, L. C. R. Análise comparativa da aplicação do programa Seis Sigma em processos de manufatura e serviços. **Production**, v. 23, n. 4, p. 695-704, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-65132013005000013>.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOMES, L. P. C.; MARQUES, D. M. N.; GUERRINI, F. M. Self-organizing Six Sigma Program: as-is model and need for changes. **Gestão & Produção**, v. 24, n. 1, p. 95-107, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530x1506-15>.

GRAAFMANS, T. *et al.* Process mining for Six Sigma: A guideline and tool support. **Business & Information Systems Engineering**, In Press, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12599-020-00649-w>.

HENDERSON, K. M.; EVANS, J. R. Successful implementation of Six Sigma: benchmarking general electric company. **Benchmarking: An International Journal**, v. 7, n. 4, p. 260-281, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/14635770010378909>.

KREGEL, I. *et al.* Process Mining for Six Sigma: Utilising Digital Traces. **Computers & Industrial Engineering**, v. 153, e107083, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.107083>.

KWAK, Y. H.; ANBARI, F. T. Benefits, obstacles, and future of six sigma approach. **Technovation**, v. 26, n. 5-6, p. 708-715, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2004.10.003>.

LEMKE, J. *et al.* Six Sigma in Urban Logistics Management – A Case Study. **Sustainability**, v. 13, n. 8, e4302, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13084302>.

LINDERMAN, K. *et al.* Six Sigma: A goal theoretic perspective. **Journal of Operations Management**, v. 21, n. 2, p. 193-203, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00087-6](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00087-6).

MARTINS, R. A. Abordagens quantitativa e qualitativa. In: MIGUEL, P. A. C. (Org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.

MARZAGÃO, D. S. L.; CARVALHO, M. M. The influence of project leaders' behavioral competencies on the performance of Six Sigma projects. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, v. 18, n. 62, p. 609-632, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.7819/rbgn.v18i62.2450>.

MERGULHÃO, R. C.; MARTINS, R. A. Relação entre sistemas de medição de desempenho e projetos Seis Sigma: estudo de caso múltiplo. **Production**, v. 18, n. 2, p. 342-358, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-65132008000200011>.

METAN, S. S. *et al.* Six Sigma: Literature review and methodologies to improve implementation. **Test Engineering & Management**, v. 83, March-April, p. 71-79, 2020.

MIGUEL, P. A. C.; SOUSA, R. O método do estudo de caso na engenharia de produção. In: MIGUEL, P. A. C. (Org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.

MONDRAGON, A. E. C.; MONDRAGON, C. E. C.; CORONADO, E. S. ICT adoption in multimodal transport sites: Investigating institutional-related influences in international seaports terminals. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 97, p. 69-88, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.01.014>.

NG, I. C.; HEMPEL, P. S. Organisational culture and the implementation of Six Sigma in Southern China. **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 31, n. 1-2, p. 82-98, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14783363.2017.1413343>.

PACHECO, D. A. J. Teoria das Restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma: limites e possibilidades de integração. **Production**, v. 24, n. 4, p. 940-956, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-65132014005000002>.

POHLMANN, P. H. M. *et al.* Tratamento de água para abastecimento humano: contribuições da metodologia Seis Sigma. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 485-492, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000097976>.

PYZDEK, T.; KELLER, P. A. **Seis Sigma**: Guia do profissional, um guia completo para Green Belts, Black Belts e gerentes em todos os níveis. Tradução Larissa Franzin e Weuler Gonçalves. Revisão técnica Hermes Vecchi. 3. ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2011.

RAMOS, A. W. Mantendo o processo sob controle. In: ROTONDARO, R. G. (Coord.). **Seis Sigma**: Estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços. 1. ed. 8. reimpr. São Paulo: Atlas, 2011.

SAJJAD, M. H. *et al.* Waste reduction of polypropylene bag manufacturing process using Six Sigma DMAIC approach: A case study. **Cogent Engineering**, v. 8, n. 1, e1896419, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1896419>.

SANTOS, A. B.; ANTONELLI, S. C. Aplicação da abordagem estatística no contexto da gestão da qualidade: um survey com indústrias de alimentos de São Paulo. **Gestão & Produção**, v. 18, n. 3, p. 509-524, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2011000300006>.

SILVEIRA, D. T.; CÓRDOVA, F. P. A pesquisa científica. In: GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (Orgs.). **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

SUNDER M, V.; MAHALINGAM, S.; KRISHNA M, S. N. Improving patients' satisfaction in a mobile hospital using Lean Six Sigma – a design-thinking intervention. **Production Planning & Control: The Management of Operations**, v. 31, n. 6, p. 512-526, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1654628>.

TRAD, S.; MAXIMIANO, A. C. A. Seis sigma: Fatores críticos de sucesso para sua implantação. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 13, n. 4, p. 647-662, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-65552009000400008>.

TSAROUHAS, P. Reliability, availability and maintainability analysis of a bag production industry based on the six sigma DMAIC approach. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 12, n. 2, p. 237-263, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-09-2019-0101>.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas. Apostila do curso de Especialização em Qualidade e Produtividade. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2012.

ZU, X.; ROBBINS, T. L.; FREDENDALL, L. D. Mapping the critical links between organizational culture and TQM/Six Sigma practices. **International Journal of Production Economics**, v. 123, n. 1, p. 86-106, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.07.009>.