



APLICAÇÃO DO CICLO DMAIC PARA REDUÇÃO DE CUSTOS DE UMA INDÚSTRIA MANUFATUREIRA DE FRALDAS DESCARTÁVEIS

APPLICATION OF THE DMAIC CYCLE FOR COST REDUCTION IN A DISPOSABLE DIAPER MANUFACTURING INDUSTRY

APLICACIÓN DEL CICLO DMAIC PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS EN UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE PAÑALES DESECHABLES

Pedro Eduardo Cassanti de Carvalho¹ & Douglas Miranda^{2*}

^{1,2} Universidade Federal do Triângulo Mineiro - UFTM

¹ pedroeduardocassanti@gmail.com ^{2*} douglas.miranda@gmail.com

ARTIGO INFO.

Recebido: 13.04.2024

Aprovado: 28.05.2024

Disponibilizado: 06.06.2024

PALAVRAS-CHAVE: Seis Sigma; ciclo DMAIC; melhoria de processos; redução de custos.

KEYWORDS: Six Sigma; DMAIC cycle; process improvement; cost reduction.

PALABRAS CLAVE: Six Sigma; ciclo DMAIC; mejora de procesos; reducción de costos.

*Autor Correspondente: Miranda, D.

RESUMO

O presente trabalho é um estudo de caso que aplica o DMAIC em uma indústria manufatureira de fraldas descartáveis com o objetivo de identificar desperdícios e propor soluções. O trabalho foi dividido em cinco etapas (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) e inicialmente identifica um consumo excessivo de dois componentes das fraldas infantis. A seguir, realiza uma investigação e análise do processo produtivo para descobrir as causas deste problema, cria um plano de ação, executa ações de melhoria e valida a eficácia das ações de modo a reduzir os impactos ambientais e financeiros do problema. Os resultados mostram uma estimativa anual de redução de custos de aproximadamente R\$ 570.000,00, alcançada sem a necessidade de investimentos. Ao fim, cria métodos de controle para assegurar os benefícios das melhorias implementadas.

ABSTRACT

The present work is a case study that applies DMAIC in a disposable diaper manufacturing industry with the aim of identifying waste and proposing solutions. The work was divided into five stages (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) and initially identifies excessive consumption of two components of children's diapers. It then carries out an investigation and analysis of the production process to discover the causes of this problem, creates an action plan, carries out improvement actions and validates the effectiveness of the actions in order to reduce the environmental and financial impacts of the problem. The results show an estimated annual savings of approximately R\$570,000.00, achieved without the need for investment. Finally, it creates control methods to ensure the benefits of the improvements implemented.

RESUMEN

El presente trabajo es un estudio de caso que aplica DMAIC en una industria de fabricación de pañales desechables con el objetivo de identificar residuos y proponer soluciones. El trabajo se dividió en cinco etapas (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) e identifica inicialmente el consumo excesivo de dos componentes de los pañales infantiles. Luego realiza una investigación y análisis del proceso productivo para descubrir las causas de este problema, crea un plan de acción, realiza acciones de mejora y valida la efectividad de las acciones para reducir los impactos ambientales y financieros del problema. Los resultados muestran una reducción de costos anual estimada de aproximadamente R\$ 570.000,00, lograda sin necesidad de inversión. Finalmente, crea métodos de control para asegurar los beneficios de las mejoras implementadas.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo de identificar desperdícios e propor soluções para uma linha de produção de uma indústria manufatureira de fraldas descartáveis utilizando o DMAIC como roteiro de referência. O ciclo DMAIC, embora criado na década de 80, continua sendo um importante aliado para a resolução de problemas e aprimoramento de processos, visando identificar, quantificar e eliminar a causa raiz de problemas (Widodo & Soediantono, 2022). De forma geral, o ciclo DMAIC é uma abordagem estruturada que capacita as organizações a enfrentarem desafios complexos, melhorar sua eficiência e qualidade, e tomar decisões baseadas em dados para garantir o sucesso a longo prazo (Pyzdek & Keller, 2018; Pongboonchai et al., 2023).

Existem muitos trabalhos na literatura que utilizam DMAIC com o objetivo de reduzir desperdícios (Henny et al., 2019) e também alguns trabalhos particularmente focados na redução do desperdício de matérias-primas como Gupta et al. (2018) na indústria de pneus e Indrawati e Ridwansyah, (2015) na indústria de aço; tendo sido encontrado apenas um estudo internacional (Mandahawi & Obeidat, 2012) aplicado à indústria de fraldas na China.

O presente trabalho aplica o ciclo DMAIC em uma empresa manufatureira de fraldas descartáveis localizada em Uberaba – MG, que atua por volta de 10 anos no setor de produtos de higiene pessoal descartáveis, tem como objetivo geral identificar desperdícios de matérias-primas e propor soluções para combatê-los, contribuindo assim com a melhoria de processos e a redução de custos da empresa.

O trabalho foi dividido em cinco seções, de modo que a Seção 1 fornece uma introdução e contexto; a Seção 2 mostra o referencial teórico com informações sobre Seis Sigma e DMAIC, bem como as ferramentas utilizadas ao longo do projeto; a Seção 3 refere-se à metodologia (materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento do trabalho); a Seção 4 descreve os resultados e detalha análises realizadas no estudo e, finalmente, a Seção 5 conclui o trabalho, retoma os principais resultados obtidos e as possibilidades para pesquisas futuras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta Seção foca na metodologia Seis Sigma, seu roteiro de aplicação (DMAIC) e a seguir nas técnicas e ferramentas utilizadas no presente trabalho.

2.1 Seis Sigma

Segundo Oakland (2003), desde o início da década de 1980, o mundo enfrenta a chamada “Revolução da Qualidade” que coloca a melhoria da qualidade como vital para a sobrevivência de muitas empresas, principalmente as manufatureiras. Essa revolução continua nos dias de hoje com a chamada “Qualidade 4.0” que corresponde à crescente digitalização da indústria, que utiliza tecnologias avançadas para melhorar a qualidade da produção e dos serviços (Javaid et al., 2021).

A estratégia possui como uma de suas premissas reduzir a variação e os defeitos nos processos com o intuito de maximizar os lucros, através de métodos estatísticos (George, 2002) de modo que o Seis Sigma dialoga diretamente com a Gestão da Qualidade Total (TQM), que também visa garantir a alta qualidade (Patyal & Maddulety, 2015).

O Seis Sigma utiliza o conceito de “Defeitos por Milhão de Oportunidades” (DPMO), que diz respeito a quantos erros apareceriam se uma atividade fosse repetida um milhão de vezes. Conforme Werkema (2012), a Escala Sigma é empregada para avaliar o nível de qualidade vinculado a um processo, convertendo a quantidade de defeitos por milhão em um número na Escala Sigma. Quanto mais elevado o valor atingido na Escala Sigma, maior é o patamar de qualidade.

Segundo Martinelli (2009), o Seis Sigma fundamenta-se em uma abordagem estatística, onde a minimização de itens defeituosos é alcançada ao manter uma distância de seis desvios padrão (6σ) entre a média do processo e seus limites de especificação superior (LSE) e inferior (LIE). O Seis Sigma busca uma meta de quase perfeição no atendimento de exigências de clientes, tendo seu nome referindo-se a um alvo de desempenho estatístico, de operar com apenas 3,4 DPMO (Pande et al., 2001). O cálculo do nível sigma é mostrado na Equação 1.

$$\text{Nível Sigma} = 3 \times Cpk = \min\left(\frac{LSE - \text{Média}}{\sigma}; \frac{\text{Média} - LIE}{\sigma}\right) \quad (\text{Eq. 1})$$

Observa-se que o cálculo do nível sigma pode ser feito a partir da multiplicação do Cpk por 3, sigla esta que representa a capacidade do processo, isto é, a habilidade de se gerar produtos dentro de uma faixa de especificação definida. Para o cálculo do Cpk (Equação 1), é necessário utilizar os limites de especificação, o valor de desvio-padrão (σ) e a média. A Tabela 1 aponta o rendimento do processo ($yied$), o DPMO e a conversão para nível sigma, facilitando a compreensão dos diferentes níveis e as porcentagens de rendimento correspondentes.

Tabela 1. Tabela simplificada de conversão de rendimento para DPMO e nível sigma

Rendimento	DPMO	Nível Sigma
30,9%	690.000	1
69,2%	308.000	2
93,3%	66.800	3
99,4%	6.210	4
99,98%	320	5
99,9997%	3,4	6

Fonte: Adaptado de Pande et al. (2001)

Nos setores automotivos, estudos como o de Lee et al. (2017) destacam como a implementação do LSS resultou em melhorias significativas na redução do uso de materiais e na redução de resíduos na produção de veículos. Na indústria alimentícia, pesquisas como a de Smith et al. (2019) mostram como a aplicação do DMAIC levou a uma redução substancial no desperdício de ingredientes durante o processo de fabricação de alimentos. Além disso, no setor de eletrônicos, estudos como o de Chen et al. (2016) demonstram como a integração de LSS e DMAIC resultou em uma diminuição significativa no uso de matérias-primas e na minimização de resíduos na produção. Mais especificamente, encontrou-se apenas um

trabalho na indústria de fraudas (Mandahawi & Obeidat, 2012). Os autores aplicam a metodologia para reduzir a variação do peso dos produtos e descobriram que o excesso de fibra, polímero superabsorvente e polpa eram as principais causas das variações. Como resultado, várias mudanças foram adotadas na fase de melhoria; essas melhorias reduziram o DPMO de 292.157 para 88.152 e aumentaram o Nível Sigma de 2,05 para 2,85.

2.2 DMAIC

O roteiro DMAIC tem suas raízes na ISO 9000 e no TQM e sua fundamentação envolve a aplicação de ferramentas estatísticas em conjunto com várias ferramentas de controle de qualidade (Rechulski & Carvalho, 2003). A primeira etapa (Definir) consiste em determinar o escopo e os objetivos do projeto de melhoria em termos dos requisitos do cliente e do processo que entrega esse requisito (Tenera & Pinto, 2014). Para esta etapa, segundo Rotondaro (2002), aconselha-se criar um fluxograma para compreender o fluxo de materiais, informações e demais recursos do processo em estudo.

A etapa Medir tem como objetivo mensurar o desempenho atual do processo (Oakland, 2003). Através das medições do desempenho atual do processo, deve-se medir as variabilidades do sistema, que podem gerar desperdícios (Bunce et al., 2008). Nesta etapa é importante testar os sistemas de medição, a fim de evitar possíveis erros que possam atrapalhar o projeto (Werkema, 2012), utilizando-se do Teste de Repetitividade e Reprodutibilidade (R&R) cujo principal objetivo da ferramenta é identificar e quantificar as fontes de variação presentes em um processo de medição (Montgomery e Runger, 2021).

A terceira etapa (Analisar) examina as causas do problema e identifica suas causas raízes (fundamentais) sendo comum a aplicação sequencial das ferramentas: Diagrama de Ishikawa, Matriz de Causa e Efeito, Diagrama de Pareto e 5 Porquês. A etapa seguinte (Melhorar), segundo Werkema (2012), tem como objetivo propor, avaliar e implementar soluções para cada problema. Para validar a melhoria implementada e os resultados obtidos, utiliza-se métodos estatísticos (Pyzdek & Keller, 2018), sendo comum aplicar as ferramentas Matriz Esforço x Impacto e 5W1H nesta ordem. Finalmente, a última etapa (Controlar) visa garantir que os ganhos sejam mantidos no longo prazo. Para Pyzdek e Keller (2018), é a etapa em que as melhorias devem ser institucionalizadas, formalizadas, através de incentivos, políticas e procedimentos que façam parte do Sistema de Gestão de Qualidade da empresa.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho é uma pesquisa aplicada, de modo que são explorados os problemas do mundo real, isto é, são analisados os processos produtivos da empresa através de conhecimentos disponíveis para aplicá-los buscando utilidade econômica. Além disso, caracteriza-se como uma pesquisa explicativa, pois tem o objetivo de aprofundar o conhecimento da realidade e explicar a razão de acontecimentos (Gil, 2002). Quanto à natureza, a pesquisa é classificada como quantitativa, pois em determinadas etapas serão analisados números e critérios matemáticos através de análises estatísticas (Appolinário, 2004), além de demais análises envolvendo variáveis quantitativas. Para o desenvolvimento do projeto, utilizou-se pesquisas bibliográficas, como livros, artigos científicos e textos

extraídos da internet buscando maior embasamento analítico nas análises realizadas (Vergara, 2006). Ademais, o projeto caracteriza-se como um estudo de caso, de modo que se volta para um caso específico e possui o objetivo de conhecer as causas do consumo desnecessário de materiais de modo abrangente e completo (Carvalho et al., 2019).

Além disso, realizou-se procedimentos de pesquisa experimental, visto que foi determinado um objeto de estudo e as variáveis capazes de influenciá-lo, a fim de definir e observar as formas de controle e os efeitos que a variável produz no processo (Gil, 2002) para, ao final, evidenciar as relações entre os fatos e as teorias (Gonsalves, 2003).

A coleta de dados foi executada entre os meses de fevereiro e abril de 2023 em uma empresa de manufatura de fraldas descartáveis, localizada em Uberaba (MG) e que conta com cerca de 550 funcionários. A pesquisa foi dividida de acordo com as 5 etapas do ciclo DMAIC de modo que, ao longo da próxima seção, cada etapa do ciclo DMAIC é explicada, assim como as ferramentas utilizadas em cada uma delas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta etapa mostra as descobertas que surgiram da aplicação do DMAIC ao processo produtivo em estudo. A seção foi estruturada a partir das fases do ciclo DMAIC.

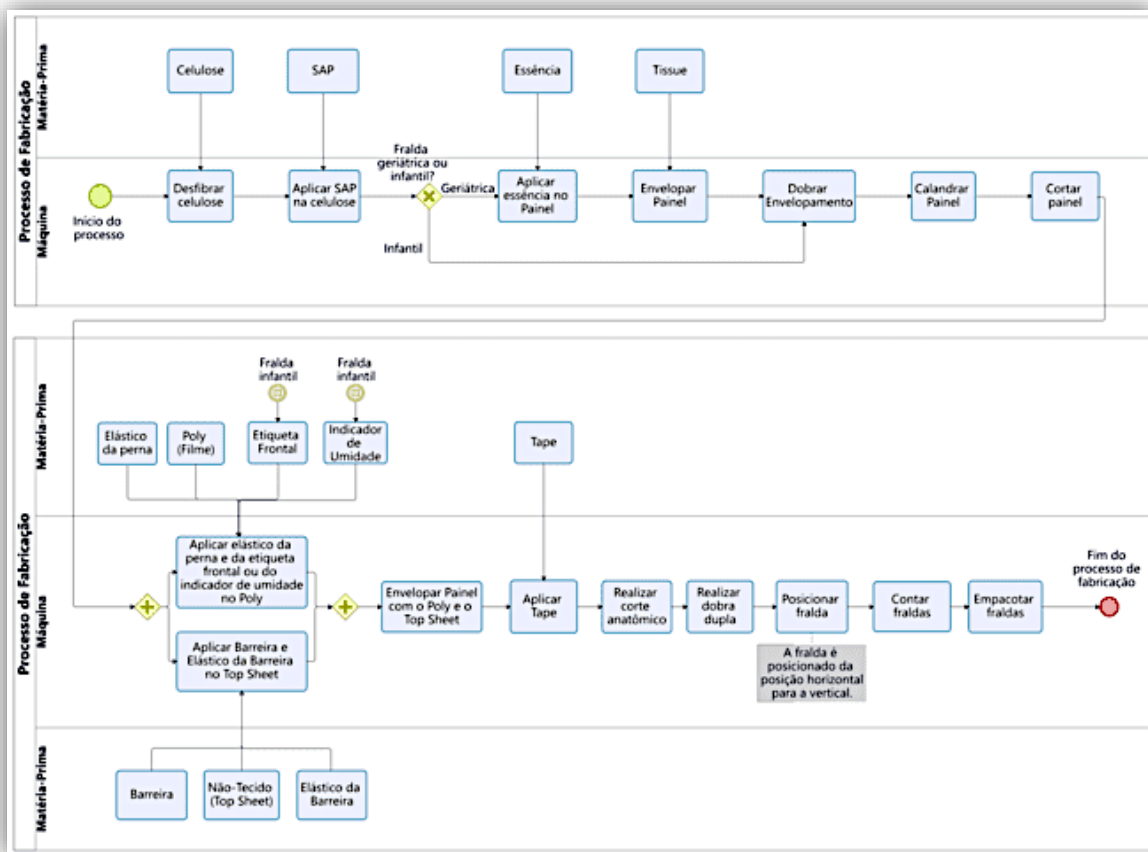
4.1 Definir

Através de conversas realizadas com os colaboradores do processo produtivo e de observações in loco, foi possível entender o passo a passo de fabricação das fraldas. Como mostrado na Figura 1, o processo inicia-se no Moinho, com uma bobina de cerca de 900kg de celulose sendo desfibrada e transformada em polpa para misturar-se com o gel absorvente na Roda Formadora. Ao longo da máquina, existem diversos detectores para identificar presença de corpos estranhos na fralda, além de servirem como auxílio para os operadores identificarem possíveis erros no processo.

Em seguida, caso seja uma fralda geriátrica, ocorre a aplicação de uma essência no painel da fralda (mistura da celulose com o gel) e segue para o envelopamento do painel, com a matéria prima chamada Tissue. Caso seja uma fralda infantil, não há a aplicação de essência, seguindo direto para a etapa do envelopamento. Após isso, ocorre uma dobragem, garantindo que o Tissue envelope completamente o painel da fralda.

Após o envelopamento finalizado, ocorre a calandragem do Painel, garantindo a fixação do mesmo com o Tissue. Logo depois, inicia-se a etapa mais complexa do processo, na qual, há aplicação do elástico que fica em contato com a perna e aplicação da etiqueta Frontal (fralda infantil) ou Indicador de Umidade (fralda geriátrica) no Poly, para colá-lo ao painel. Paralelamente a isso, há a aplicação da barreira de proteção (componente que impede que o líquido vaze pelas laterais da fralda) e do elástico da barreira no Top Sheet (folha superior – não-tecido). Com isso, o processo avança para o envelopamento do Painel (celulose, gel e Tissue) com o Poly e o Top Sheet.

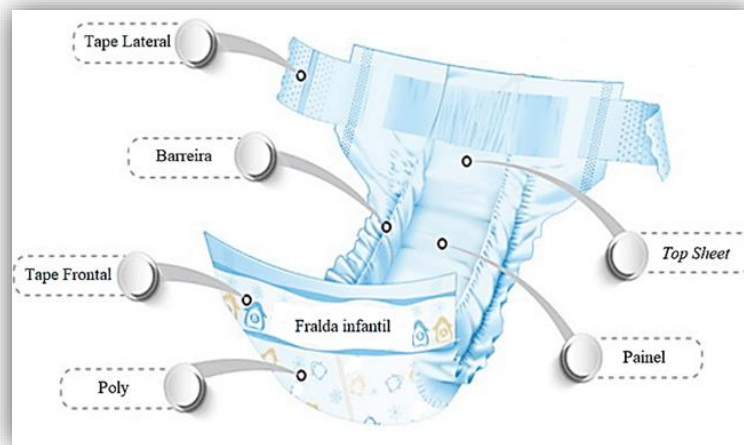
Figura 1. Fluxograma do processo produtivo das fraldas



Fonte: Autores, 2024.

Posteriormente, ocorre a aplicação dos Tapes nas laterais da fralda. Em sequência, acontece o corte anatômico da fralda e a dobragem dupla. Com isso, o processo de fabricação da fralda é finalizado e inicia-se o processo da máquina embaladora onde ocorre uma mudança no posicionamento da fralda, passando-a da posição na horizontal para vertical. Após isso, há a contagem das fraldas e, por último, o empacotamento das fraldas. Sendo assim, o processo automatizado de fabricação da fralda conclui-se e a partir disso, inicia-se o processo manual de enfardamento, no qual os auxiliares de máquina realizam essa tarefa.

Após construir o fluxograma do processo produtivo, realizou-se reuniões com colaboradores do processo de Compras de matéria-prima, sendo observado que a quantidade consumida de alguns materiais estava superior ao planejado, principalmente dos componentes Tape Lateral e Tape Frontal, isto é, a matéria-prima disponível em estoque estava esgotando-se antes do que o planejado, causando incertezas em relação ao processo de Compras como um todo; sendo este o problema a ser investigado no presente estudo.

Figura 2. Fralda infantil e seus componentes

Fonte: Adaptado do webiste TSHTurkey, 2024

Os componentes, como mostra a Figura 2, são os seguintes:

- **Tape Lateral:** formado por um tape lateral em cada lado da fralda (Lado Máquina – LM e Lado Operador – LO), é um componente adesivo que possui a função de “fechar” a fralda ao redor do usuário, colando-se ao Frontal. Medida de especificação dos Tapes Laterais: $20 \pm 5\text{mm}$;
- **Frontal:** componente que fica na parte frontal da fralda e serve como um ponto de fixação para os Tapes Laterais. Medida de especificação do Frontal: $30 \pm 5\text{mm}$.

4.2 Medir

Nesta etapa, inicialmente, foi definido como seriam feitas as medições. Sabendo que cada linha produtiva estaria produzindo um tipo de produto e com especificações diferentes, foi coletado um pacote de fraldas de cada linha produtiva a ser analisada e, a partir do pacote, foram selecionadas, aleatoriamente, dez fraldas por amostra. Os responsáveis pelas medições seriam os colaboradores do setor de Processos.

Com isso, através de uma régua de aço de 15cm e com precisão de 1mm, foram medidos e documentados em uma planilha de Microsoft Excel os valores de Frontal e Tape de cada uma das peças coletadas.

Antes de prosseguir com o estudo, decidiu-se realizar um Teste de R&R para confirmar se o sistema de medição utilizando uma simples régua seria adequado. Foram selecionados três operadores para participação no teste e, além disso, foram selecionadas, aleatoriamente, cinco fraldas. Para cada uma dessas fraldas, cada operador realizou duas medições, totalizando 30 medições (Tabela 2).

Tabela 2. As diferentes medições obtidas pelos operadores

Fralda	Medições (mm)									
	1		2		3		4		5	
Medição	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Operador 1	31,0	30,9	30,3	30,4	30,3	30,3	30,0	30,0	30,1	30,0
Operador 2	31,0	31,0	30,5	30,5	30,4	30,3	29,9	30,0	30,2	30,1
Operador 3	31,0	31,1	30,4	30,3	30,5	30,4	30,0	30,0	30,0	30,0

Fonte: Autores, 2024.

A partir da análise dos valores obtidos nas medições dos três diferentes colaboradores, tem-se que a variação entre as medidas é baixa, visto que os valores são bem próximos e em todos os casos, o valor máximo da diferença entre as medições de uma mesma fralda, não ultrapassou os 0,2 mm. Em seguida, para verificar a qualidade do método de medição foi realizado um estudo de R&R (Repetibilidade e Reprodutibilidade) com o auxílio do software Minitab (Tabela 3).

Tabela 3. Resultado do teste de R&R

Fonte de variação	Desvio-padrão (DP)	Var. do Estudo (6xDP)	% Var. do Estudo (%VE)
Total de R&R da Medição	0,058623	0,35174	14,16
Repetibilidade	0,052190	0,31314	12,61
Reprodutibilidade	0,026699	0,16019	6,45
Peça a Peça	0,409741	2,45845	98,99
Variação Total	0,413914	2,48348	100

Fonte: Autores, 2024.

Segundo Beckert & Paim (2017), nos estudos de R&R, se a porcentagem de variação do estudo (%VE) estiver abaixo de 10%, o sistema de medição pode ser considerado adequado. Se o valor estiver entre 10% e 30%, o sistema de medição pode ser aceitável; e se acima de 30%, o sistema de medição é considerado inaceitável. Com a avaliação das medições obtida através do Minitab, observa-se que o total de variação de R&R apresenta um valor aceitável, aproximando-se de 14%.

A partir disso, iniciou-se as coletas e medições das amostras nas máquinas M03, M06 e M07, que eram as que apresentavam indícios de maiores desvios em relação às especificações. Para dimensionamento do tamanho de amostra utilizou-se a Equação 2, derivada do Intervalo de Confiança para uma distribuição Normal de probabilidade, em que o desvio-padrão (s) foi previamente estimado a partir de uma amostra preliminar de tamanho 10, assim como também foram calculadas estatísticas descritivas de assimetria e curtose, para verificar se os valores estavam na vizinhança de zero, evidenciando uma proximidade da distribuição Normal. Na Equação 2, z corresponde à distância da média de uma distribuição Normal Padrão para um nível de confiança desejado de 95%, sendo E o erro absoluto admissível calculado aqui como sendo 5% da amplitude dos limites especificados na Tabela 4. Os valores obtidos para n foram inferiores à amostra preliminar de tamanho 10, não sendo necessário complementar o tamanho da amostra.

$$n = (z * s/E)^2 \quad (\text{Eq. 2})$$

Tabela 4. Limites de Especificação do Frontal e Tape

Limites de Especificação (mm)	
Frontal	30 ± 5
Tape LM	20 ± 5
Tape LO	20 ± 5

Fonte: Autores, 2024.

As medições realizadas e o cálculo das estatísticas descritivas em cada máquina são mostrados nas Tabelas 5, 6 e 7 com unidade em milímetros. Como o cálculo do Nível Sigma não é válido para processos instáveis, a estabilidade foi calculada utilizando o índice de estabilidade proposto por Glushkovsky (2006) implementado no website *Independence and Stability* (2024), em que processos estáveis possuem valores maiores que 1 e instáveis próximos de 0.

Tabela 5. Medições do Frontal e Tape da máquina M03

#	Frontal	Tape LM	Tape LO
1	31,4	23,1	23,2
2	32,5	22,9	23,4
3	32,1	23,4	23,0
4	33,3	23,9	22,7
5	34,2	23,5	22,5
6	33,0	23,2	23,8
7	33,6	22,8	24,0
8	32,8	22,7	23,1
9	33,1	23,1	22,9
10	32,9	23	22,7
média	32,89	23,16	23,13
desvio padrão	0,78	0,36	0,49
nível sigma	4,21	6,62	5,35
estabilidade	1,54	0,98	0,80

Fonte: Autores, 2024.

Sabe-se que a interpretação do nível sigma é crucial para avaliar e monitorar a qualidade de processos industriais, identificando a variação e a consistência dos resultados produzidos em relação aos limites de especificação. Dito isso, ao analisar o nível sigma calculado para cada um dos componentes da fralda, observa-se que, com exceção do frontal da M07, todos os outros níveis sigma são superiores a 4, o que confere no mínimo 99,4% de rendimento e no máximo 6210 DPMO. O nível sigma médio ficou em 5,25 equivalente a um DPMO de apenas 89 peças por milhão. Esse DPMO baixo motivou uma discussão no time de que ele pode ser resultado de um intervalo exageradamente alto entre os limites de especificação do processo em relação à variabilidade dos dados, podendo indicar que os critérios de aceitação estão excessivamente espaçados, permitindo uma considerável variação nos resultados sem que estes sejam considerados fora dos padrões. Essa amplitude excessiva entre os limites pode comprometer a sensibilidade do processo em identificar variações que possam afetar a qualidade, sinalizando a necessidade de revisão nos critérios de especificação para garantir uma avaliação mais precisa e consistente da performance do processo.

A alta amplitude entre os limites de especificação pode implicar que certos componentes da fralda podem variar significativamente sem serem notados. Nas Tabelas 4, 5 e 6 percebe-se que todas as médias estão significativamente deslocadas para cima e mesmo assim o Nível Sigma ainda pode ser considerado bom; porém na perspectiva de custos, isso significa que uma quantidade maior de material está sendo utilizada. Limites excessivamente amplos podem não apenas comprometer a qualidade do produto, mas também aumentar os custos operacionais ao permitir uma maior taxa de produção de itens acima da média especificada.

Tabela 6. Medições dos Tapes Frontal e Lateral da máquina M06

#	Frontal	Tape LM	Tape LO
1	32,4	23,4	23,2
2	32,8	22,3	22,1
3	33,3	22,8	23,4
4	31,9	23,4	22,3
5	33,6	22,6	22,6
6	32,5	23,1	23,1
7	33,7	23,2	23,2
8	32,4	23,6	22,8
9	33,5	23,1	22,4
10	32,3	22,9	23,2
média	32,84	23,04	22,83
desvio padrão	0,64	0,40	0,45
nível sigma	4,89	6,43	6,27
estabilidade	1,60	2,57	1,42

Fonte: Autores, 2024.

Caso aconteçam variações para baixo, isto é, variações em que o tamanho médio dos componentes seja deslocado para baixo, atingindo valores como 25mm e 26mm por exemplo, haverá um impacto negativo na qualidade do produto, podendo prejudicar a capacidade de retenção de líquido da fralda e o conforto ao colocá-la na criança. Por outro lado, caso ocorram variações que causem um aumento no tamanho médio dos componentes, não haverá impacto na qualidade do produto. Porém, ao deslocar-se a média para cima, o consumo de matéria-prima para fabricação irá aumentar significativamente, aumentando o custo de fabricação da fralda.

Tabela 7. Medições dos Tapes Frontal e Lateral da máquina M07

#	Frontal	Tape LM	Tape LO
1	31,6	22,1	20,2
2	31,9	19,9	21,0
3	34,2	22,4	19,3
4	33,4	22,1	22,1
5	32,5	21,8	19,8
6	33,4	20,4	22,3
7	33,7	21,3	21,4
8	32,8	20,1	22,3
9	32,1	21,9	19,7
10	33,7	19,2	22,6
média	32,93	21,12	21,07
desvio padrão	0,88	1,13	1,24
nível sigma	3,85	4,95	4,66
estabilidade	0,99	0,81	1,00

Fonte: Autores, 2024.

Sendo assim, observando os valores das medições, tem-se que as médias obtidas, para todas as máquinas estudadas, estão cerca de 3mm acima da média especificada para o Frontal e entre 2 a 3mm acima para os Tapes Laterais. Essas médias deslocadas para cima irão gerar um consumo desnecessário de matéria-prima, visto que será necessário mais material para produzir um componente de tamanho maior.

Além desse impacto direto no custo de fabricação do produto, haverá impacto nos setores de Planejamento (Planejamento e Controle da Produção - PCP e Suprimentos - Compras), visto que irão realizar um planejamento baseando-se nos valores especificados de cada componente, isto é, 30mm para Frontal e 20mm para cada um dos Tapes Laterais. Porém, como a realidade não está sendo assim, ou seja, os componentes das fraldas estão atingindo maiores tamanhos, os níveis de estoque desses materiais irão abaixar mais rápido do que o planejado pelos setores acima citados, o que pode causar uma falta de matéria-prima disponível para fabricação.

Dessa forma, considerou-se redefinir os limites de especificação para os componentes da fralda, buscando uma maior precisão e consistência nos processos de fabricação. Reduzir essa amplitude entre os limites pode assegurar uma qualidade mais consistente, garantindo que o produto atenda aos padrões desejados e ofereça uma experiência confiável e satisfatória aos usuários, mitigando qualquer risco associado à grande amplitude dos limites de especificação.

4.3 Analisar

Esta etapa visa encontrar a causa raiz do problema: o consumo excessivo dos materiais utilizados para construção dos componentes da fralda citados anteriormente. Sendo assim, partindo da análise do Diagrama de Ishikawa, tem-se que o efeito é o consumo desnecessário de materiais e, as causas possíveis elencadas pelo time em reuniões de *brainstorming* são:

- Mão de obra:
 - o Facilidade para alterar parâmetros: atualmente, os parâmetros dos componentes nas máquinas são de fácil acesso para os operadores, ou seja, facilmente os colaboradores conseguem alterar esses parâmetros, o que irá causar um consumo desnecessário de materiais caso os parâmetros estejam com valores acima do especificado.
 - o Receio de falha na máquina: os operadores tendem a aumentar os valores dos parâmetros com medo de que, por falhas na máquina, aconteçam problemas no corte dos componentes e deixem eles com o tamanho menor do que o limite inferior de especificação que, no caso, é de 25mm para o Frontal e 15mm para o Tape. Dessa forma, para evitar que esses valores sejam atingidos, os operadores aumentam os valores dos parâmetros desses componentes para que mesmo que exista algum problema no processo, os valores não atinjam o mínimo especificado.
- Máquina:
 - o Diferença do valor do parâmetro e do tamanho real atingido no componente: os valores que são colocados nos parâmetros dos componentes e os valores reais não são exatamente os mesmos, por perdas naturais no processo.

- o Conjunto de corte com defeito: o conjunto de corte pode apresentar algum defeito e não realizar o corte da maneira que foi definida no parâmetro e, com isso, pode trazer tamanhos maiores do que o valor colocado nos parâmetros, consumindo materiais desnecessariamente.
- Material:
 - o Baixa qualidade do material: quando a matéria prima em questão vem do fornecedor com uma qualidade mais baixa do que o normal, o processo da máquina torna-se um pouco mais difícil, isto é, será necessário um esforço maior da máquina para cortar o material e atingir os valores especificados. Dessa forma, quanto maior a qualidade do material, mais fácil será o processo da máquina.
 - o Rompimento de material: ocasionalmente, durante o processo, pode acontecer o rompimento do material, isto é, o material se solta da fralda, sendo necessário parar o processo para corrigir o problema, de modo que o material que rompeu seja colado novamente no resto da fralda.
- Medida:
 - o Medição demorada: Devido à grande pressão que os colaboradores sofrem para entregar as fraldas, muitas das vezes eles não têm tempo necessário para coletar uma amostra de fraldas para análise. Caso existisse um método mais rápido de medir o tamanho real dos componentes, ocorreria uma melhora nesse problema.
- Método:
 - o Falta de controle do tamanho dos componentes: percebe-se que dentro do ambiente de trabalho da fábrica, a atividade de controlar e observar o tamanho real que os componentes Frontal e Tape estão atingindo possui uma frequência bem baixa. Com isso, falhas no processo podem passar despercebidas, o que irá fazer com que haja um consumo desnecessário/incorrecto de matéria prima.
 - o Falta de bloqueio de alteração de parâmetros: atualmente, não são todas as máquinas que possuem bloqueio por senha nesses parâmetros que, teoricamente, não devem ser alterados. Caso houvesse um bloqueio por senha para alterar os valores de Frontal e Tape, a frequência de erros e de consumo desnecessário de material iria diminuir. Porém, para ocorrer esse bloqueio, há uma dependência dos técnicos em eletrônica que, muitas vezes, estão ocupados com outras demandas dentro da fábrica.
- Meio ambiente:
 - o Alta demanda por produtividade: dentro do ambiente da fábrica, há uma alta demanda por produtividade, isto é, os trabalhadores sofrem grande pressão para produzir cada vez mais fraldas e dentro dos padrões aceitáveis. Sendo assim, para tentar minimizar possíveis problemas no processo da máquina, os trabalhadores tendem a aumentar os valores de Frontal e Tape, buscando a garantia de que eles não irão ficar abaixo do Limite Inferior de Especificação estipulado pelo setor de Qualidade que, no caso, é de 25mm e 15mm, respectivamente.

Sendo assim, a partir da definição das possíveis causas para o problema foi desenvolvida uma Matriz de Causa e Efeito, conforme mostrado na Tabela 8, com o intuito de auxiliar na priorização das causas, ou seja, para definir quais são as causas que apresentam maior impacto sobre o efeito de consumo desnecessário de materiais. A partir de reunião com os colaboradores envolvidos no processo, uma discussão levou a um consenso para uma nota de 1 a 10 para cada causa.

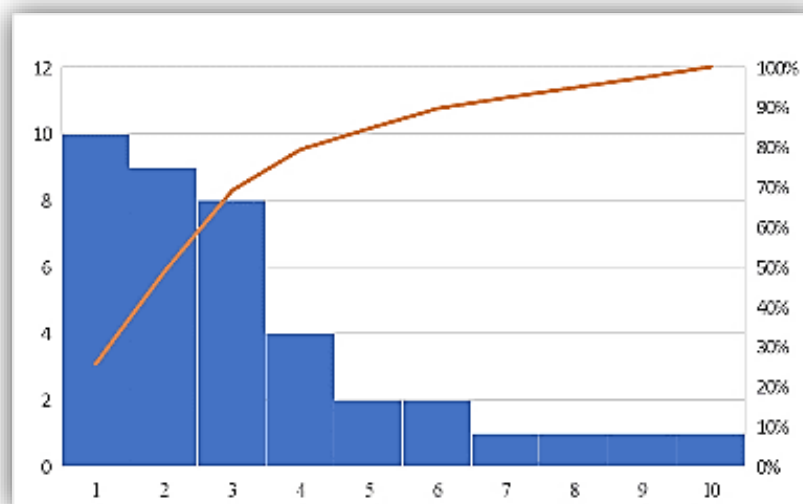
Tabela 8. Matriz de Causa e Efeito para o efeito: Consumo desnecessário de materiais

Causas	Peso
1 - Falta de controle do tamanho dos componentes	10
2 - Facilidade para alterar parâmetros	9
3 - Falta de bloqueio de alteração de parâmetros	8
4 - Diferença do valor do parâmetro e do tamanho real atingido no componente	4
5 - Alta demanda por produtividade	2
6 - Conjunto de corte com defeito	2
7 - Rompimento de material	1
8 - Receio de falha na máquina	1
9 - Baixa qualidade do material	1
10 - Medição demorada	1

Fonte: Autores, 2024.

Após criação da matriz de causa e efeito e análise das notas obtidas por cada uma das causas, apresenta-se na Figura 3, um Gráfico de Pareto, para obter quais as causas mais relevantes, isto é, quais as causas que juntas são responsáveis por 80% do problema de consumo desnecessário de materiais. De acordo com o gráfico, tem-se que as causas que geram cerca de 80% do problema de consumo de materiais são: (1) Falta de controle do tamanho dos componentes, (2) Facilidade para alterar parâmetros e, por fim, (3) Falta de bloqueio de alteração de parâmetros. O próximo passo busca identificar a causa-raiz de cada uma das causas primárias priorizadas e, para isso, utiliza-se a técnica dos 5 Porquês.

Figura 3. Gráfico de Pareto, que aponta as causas que geram cerca de 80% do problema de consumo desnecessário de materiais



Fonte: Autores, 2024.

- Causa primária 1:

1- Por que há falta de controle do tamanho dos componentes?

R: Porque não há um método preciso para o operador usar o material.

2 - Por que não há um método preciso para o operador usar o material?

R: Porque são raríssimas as vezes em que os componentes ultrapassam os limites de especificação, existindo um foco apenas na qualidade, ignorando os custos.

- Causa primária 2:

1- Por que existe uma facilidade para os colaboradores alterarem os parâmetros dos componentes no IHM da máquina?

R: Porque no IHM, esses componentes são fáceis de serem acessados e alterados, bastando clicar em um botão para aumentá-los ou diminuí-los.

- Causa primária 3:

1 - Por que não há um bloqueio de alteração de parâmetros por senha. Por exemplo, a alteração de parâmetros seria centralizada apenas no líder de cada máquina.

R: Porque o processo nunca percebeu que esta liberdade dada aos operadores fazia a média de consumo de material aumentar.

2 - Por que o processo nunca percebeu?

R: Porque não há um procedimento formal para medição periódica dos tamanhos de fraudas.

Dessa forma, a partir da finalização da técnica dos 5 porquês, percebe-se que houve uma convergência para uma mesma causa-raiz: inexistência de um procedimento formal para medição periódica dos tamanhos de fraudas e critérios claros para avaliação destes valores para tomada de decisão no ajuste dos parâmetros das máquinas. A partir desta descoberta, é possível trabalhar em possíveis soluções para mitigar as causas-raízes do problema de consumo desnecessário de materiais, concluindo-se a etapa Analisar do ciclo DMAIC, e avançando-se para a etapa Melhorar.

4.4 Melhorar

Esta etapa analisa as possíveis soluções para as causas raízes encontradas na etapa anterior. A Tabela 9 apresenta as possíveis soluções obtidas para as causas estudadas e, para cada uma delas, foi atribuído um ID (de I a IV).

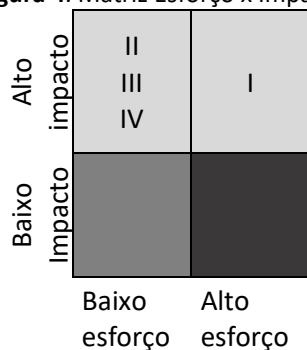
Tabela 9. Possíveis soluções para as causas estudadas

Causa	Possível Solução
I	Diminuição do intervalo dos limites de especificação
II	Realização de medições diárias do tamanho dos componentes
III	Redução nos valores de parâmetros no IHM
IV	Bloqueio de alteração de parâmetros de Frontal e Tape por senha

Fonte: Autores, 2024.

Em seguida, foi desenvolvida uma matriz Esforço x Impacto, conforme Figura 4, para selecionar, dentre as possíveis soluções citadas, aquelas que são as mais promissoras, isto é, que apresentam maior impacto na resolução do problema e com um baixo nível de esforço.

Figura 4. Matriz Esforço x Impacto



Fonte: Autores, 2024.

A solução candidata I (diminuição do intervalo dos limites de especificação), apesar de ter um alto impacto, também possui um alto esforço para implementação, visto que teriam que ser revistos e alterados diversos materiais de Controle da Qualidade e de sistema para todos os setores, que já estão definidos para trabalharem de acordo com os intervalos de especificação atuais. Com isso, as outras três possíveis soluções, que estão dentro do quadrante que apresenta um alto impacto e baixo esforço, serão priorizadas, sendo elas: Realização de medições diárias do tamanho dos componentes, Redução nos valores de parâmetros no IHM e, por fim, Bloqueio de alteração de parâmetros de Frontal e Tape por senha.

Para implementação destas ações de melhoria criou-se um plano de ação utilizando a ferramenta 5W1H, cujo plano é mostrado na Tabela 10.

Tabela 10. 5W1H para implementação das melhorias

WHAT	WHERE	WHY	WHO	WHEN	HOW
Medir tamanho dos componentes	Máquinas 03, 06 e 07	Comparar tamanho real com o valor configurado na IHM	Analista de Processos	Diariamente	Selecionar o primeiro pacote de fraldas e, aleatoriamente, selecionar 10 fraldas.
Reduzir os valores na IHM	IHM das máquinas 03, 06 e 07	Verificar se a média real irá se aproximar da especificada.	Analista de Processos	março/23	Alterar os valores de parâmetros no IHM de cada máquina para 30mm para o Frontal e 20mm para os Tapes
Bloquear alterações pelo operador	IHM das máquinas 03, 06 e 07	Evitar a alteração de parâmetros pelos operadores	Técnico em Eletrônica	junho/23	Criar um bloqueio por senha para alteração dos parâmetros

Fonte: Autores, 2024.

Com a finalização do 5W1H, deu-se início à execução das melhorias. Como observado anteriormente, os valores reais atingidos pelos componentes eram superiores àqueles especificados, que são 30 mm para o Frontal e 20 mm para o Tape. Dessa forma, para análise das melhorias propostas e definidas através do plano de ação, torna-se necessário uma nova medição dos componentes, isto é, uma medição após a implementação das melhorias.

Tabela 11. Medições do Frontal e Tape da máquina M03 pós alteração no IHM

#	Frontal	Tape LM	Tape LO
1	28,7	19,2	19,4
2	29,7	19,2	20,7
3	28,2	20,0	21,0
4	28,4	19,1	19,6
5	29,8	19,8	19,5
6	28,2	20,6	21,2
7	29,5	19,6	20,5
8	28,4	21,1	21,1
9	31,3	19,8	19,6
10	28,7	20,5	20,7
média	29,09	19,89	20,33
desvio padrão	0,99	0,67	0,72
nível sigma	5,64	8,81	7,95
estabilidade	1,31	1,11	2,10

Fonte: Autores, 2024.

As Tabelas 11 a 13 apresentam as medições realizadas após testes na diminuição dos valores de parâmetro de frontal e tape no IHM das máquinas M03, M06 e M07 para as medidas especificadas pelo setor de Qualidade. Os tiveram aumento significativo do Nível Sigma em virtude da redução dos valores das médias, que agora ficaram mais centralizados em relação aos limites especificados; deixam claro que os valores ficaram mais centralizados. Para a Tabela 10, produto Frontal, a média ficou levemente deslocada para esquerda, mesmo assim o Nível Sigma foi elevado. No geral, os novos valores de Nível Sigma continuam altos e a quantidade média de material foi reduzido, estando alinhado com o objetivo do plano de ação estabelecido de reduzir o consumo de material.

Tabela 12. Medições do Frontal e Tape da máquina M06 pós alteração no IHM

#	Frontal	Tape LM	Tape LO
1	29,9	20,2	20,7
2	30,0	20,3	20,1
3	29,3	21,5	20,9
4	29,5	19,5	19,5
5	30,1	20,7	19,4
6	30,0	18,5	19,6
7	29,8	21,1	19,8
8	30,3	19,0	21,1
9	30,1	21,5	19,5
10	29,6	18,9	19,6
média	29,86	20,12	20,02
desvio padrão	0,31	1,10	0,64
nível sigma	17,19	5,94	9,23
estabilidade	1,04	1,18	1,17

Fonte: Autores, 2024.

Tabela 13. Medições do Frontal e Tape da máquina M07 pós alteração no IHM

#	Frontal	Tape LM	Tape LO
1	28,5	19,0	20,0
2	29,2	21,7	20,5
3	28,9	19,5	20,1
4	28,8	21,0	20,8
5	29,6	19,6	20,2
6	29,0	21,0	20,1
7	29,1	19,5	20,3
8	29,3	21,2	21,3
9	28,2	19,5	19,9
10	29	21	20,4
média	28,96	20,30	20,36
desvio padrão	0,40	0,96	0,42
nível sigma	11,46	6,38	12,49
estabilidade	1,14	1,95	2,25

Fonte: Autores, 2024.

A Tabela 14 mostra resultados de Testes Estatísticos de Hipótese realizados para, inicialmente, confirmar estatisticamente se houve mudança nos valores de variância ($\sigma_{antes}^2 \neq \sigma_{depois}^2$) através de um Teste de Levene com 95% de nível de confiança. A partir disso, realizou-se um Teste T (*Student*) para comparar as médias ($\mu_{antes} > \mu_{depois}$) para 95% de nível de confiança, assumindo variâncias iguais ou diferentes, conforme o resultado do teste de Levene. Dentre os nove testes de variância, quatro tiveram diferença estatística, sendo que três sofreram uma redução da variância e apenas um (Tape LM, Máquina 06) teve um aumento da variância que não foi considerado um problema pois o nível sigma é alto (5,94). Quanto às médias, houve redução estatisticamente significativa para oito testes, sendo que apenas para o produto Tape LO, Máquina 07, a redução não foi significativa, ainda assim com um p-valor baixo de 0,058.

Tabela 14. P-valores para Teste Estatístico de Hipótese para variância e média

Máquina	Variância			Média		
	Frontal	Tape LM	Tape LO	Frontal	Tape LM	Tape LO
M03	0,590	0,110	0,170	0,000	0,000	0,000
M06	0,030	0,010	0,540	0,000	0,000	0,000
M07	0,009	0,802	0,001	0,000	0,049	0,058

Fonte: Autores, 2024.

O próximo foi medir a redução de custos potencialmente obtida a partir da redução de consumo de materiais após a implementação das melhorias. Ao comparar os custos associados ao consumo desnecessário de materiais antes e depois das mudanças, foi possível quantificar os benefícios financeiros da otimização. Essa análise financeira não apenas reforça a eficácia das melhorias em termos de qualidade, mas também fornece uma perspectiva econômica clara, demonstrando o retorno obtido através das melhorias implementadas. A Tabela 15 apresenta uma comparação entre os tamanhos reais dos componentes antes e depois da implementação das melhorias, para cada máquina e componente.

Tabela 15. Comparação das medições antes (a) e depois (d) da implementação das melhorias para cada máquina, com a diferença (Δ).

Comp.	a-M03	d-M03	Δ	a-M06	d-M06	Δ	a-M07	d-M07	Δ	Média (Δ)
Frontal	32,9	29,1	-3,8	32,8	29,7	-3,1	32,9	29,0	-3,9	-3,6
Tape LM	23,2	19,9	-3,3	23,0	20,1	-2,9	21,1	20,3	-0,8	-2,3
Tape LO	23,1	20,3	-2,8	22,8	19,9	-2,9	21,1	20,4	-0,7	-2,1

Fonte: Autores, 2024.

A partir da Tabela 15, observa-se que, para todas as máquinas, houve redução significativa no tamanho dos componentes. Para estimar a redução de custos que pode ser obtida assumindo-se estas reduções dos componentes, primeiramente, foi coletada a produção mensal das máquinas estudadas. Esses valores, referentes a dados de produção de abril de 2023, estão demonstrados na Tabela 16.

Tabela 16. Produção mensal das máquinas (abril/2023)

Produção Mensal (fraldas)	
M03	2.009.856
M06	6.995.711
M07	6.784.453
Total	15.790.020

Fonte: Autores, 2024.

A seguir foi realizada uma reunião com os funcionários envolvidos na compra da matéria-prima dos componentes para obter informações de especificação desses produtos, assim como os valores para aquisição dos mesmos. Calculou-se o custo de matéria-prima por unidade de fralda e o custo mensal total de matéria-prima para a fabricação das fraldas e então foi feita uma comparação entre os custos antes e depois da implementação das mudanças, evidenciando a diferença entre eles e, obtendo-se a possível redução mensal obtida a partir da diminuição do tamanho dos componentes. A Tabela 17 mostra os cálculos acima citados referentes ao componentes Tape (LM, LO) e Frontal, para uma produção mensal de 15.790.020 unidades.

Tabela 17. Comparação de valores financeiros antes e depois da implementação das melhorias

Componente	Antes - Custo mensal (R\$)	Depois - Custo mensal (R\$)	Redução (R\$)
Tape (LM, LO)	345.567,00	310.972,00	34.595,00
Frontal	117.815,00	104.846,00	12.968,00
Total	463.382,00	415.818,00	47.564,00

Fonte: Autores, 2024.

Observa-se que, no caso do Tape, a redução mensal obtida com a redução do tamanho do componente seria de aproximadamente R\$ 34.600,00 e para o Frontal R\$ 12.968,00, totalizando uma redução mensal de R\$ 47.564,00 que, em termos anualizados, corresponde a uma redução de R\$ 570.765,00 (acima de meio milhão de reais).

4.5 Controlar

Como última etapa do ciclo DMAIC, após implementações e análises das melhorias obtidas, convém estabelecer medidas de controle para o processo, garantindo que as medidas propostas sejam seguidas e que a matéria-prima não seja consumida desnecessariamente. Para auxiliar nesse controle e garantir que as melhorias implementadas sejam seguidas, foi desenvolvido outro 5W1H, apresentado na Tabela 18.

Tabela 18. 5W1H para controle das melhorias implementadas

What	Where	Why	Who	When	How
Medir o tamanho dos componentes	Máquinas 03, 06 e 07	Se os tamanhos dos componentes estão condizentes com os valores da IHM	Analista de Processos	Semanalmente	Selecionar o primeiro pacote de fraldas e, aleatoriamente, selecionar 10 fraldas deste pacote e medir o tamanho
Verificar os parâmetros no IHM das máquinas	Máquinas 03, 06 e 07	Para garantir que os valores especificados sejam mantidos no IHM.	Analista de Processos	No início do expediente (8:00) e no início do turno B (14:00).	Abrir tela de consulta no IHM, e verificar se os valores estão conforme os novos valores especificados.

Fonte: Autores, 2024.

Com o auxílio de uma ficha de controle de parâmetros, deve-se verificar se os parâmetros especificados estão sendo seguidos no IHM e, caso não estejam corretos, alterá-los, garantindo assim que na maior parte do tempo produtivo os valores corretos sejam respeitados. A Figura 5 exemplifica a ficha de controle de parâmetros criada para garantir que as melhorias implementadas sejam seguidas.

Para garantir a assertividade desse método de controle, também deve-se coletar amostras semanalmente, a fim de verificar se os parâmetros do IHM estão refletidos nos tamanhos reais dos componentes, isto é, podem ocorrer falhas no processo devido à problemas na máquina, fazendo com que o processo não atinja o tamanho do corte em questão, o que deixaria o tamanho real do componente divergente do que é mostrado no IHM. Dessa forma, caso seja observada uma alteração entre o valor no IHM e o valor real atingido na fralda, deve-se investigar quais as possíveis causas dessa variação e, após isso, ajustar o valor no IHM para que o valor especificado seja respeitado.

Figura 5. Ficha de controle de parâmetros

QUALIDADE: CONTROLE DE DOCUMENTOS E REGISTROS				
Título: Acompanhamento de parâmetros Frontal e Tape (observado no IHM)				
Versão: 00		Elaborado: Pedro Eduardo Cassanti de Carvalho		Aprovado:
Objetivo: Garantir que os valores corretos dos parâmetros do frontal e do tape sejam seguidos, para que seja consumida a quantidade correta dos materiais.			Máquina: FAM 06	
			Valores de parâmetro:	
			Frontal: 30mm Tape: 20mm	
DIA	TURNO	SITUAÇÃO	OBSERVAÇÃO	VERIFICADO POR
03/04/2023	A	() OK () N/OK		
	B	() OK () N/OK		
	C	() OK () N/OK		
DIA	TURNO	SITUAÇÃO	OBSERVAÇÃO	VERIFICADO POR
04/04/2023	A	() OK () N/OK		
	B	() OK () N/OK		
	C	() OK () N/OK		
DIA	TURNO	SITUAÇÃO	OBSERVAÇÃO	VERIFICADO POR
05/04/2023	A	() OK () N/OK		
	B	() OK () N/OK		
	C	() OK () N/OK		

Fonte: Autores, 2024.

Outra decisão é que os valores das médias obtidas estejam dentro de uma tolerância de 1 mm para mais ou para menos em relação à média especificada. Caso seja obtido um valor fora destes limites, o operador deve notificar o supervisor para realizar os ajustes na máquina; sendo que estes procedimentos foram inseridos nas instruções de trabalhos dos operadores das máquinas. Deseja-se que, a partir da formação de uma base histórica de dados, que estes valores semanais estejam sujeitos a um monitoramento via Gráficos de Controle Estatístico de Processo, para monitorar continuamente a estabilidade e a capacidade do processo. Visto isso, conclui-se a última etapa do ciclo DMAIC que, após implementação das melhorias, assegura que essas serão seguidas e funcionem ao longo do tempo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados gerais obtidos através da aplicação do método DMAIC foram positivos no combate ao consumo desnecessário de materiais, isto é, houve uma redução na média dos componentes Frontal e Tape observados nas fraldas. Antes da implementação das melhorias, as medidas de frontal e tape apresentavam cerca de 33mm e 23mm, respectivamente. Após a implementação das melhorias, as medidas obtidas foram de aproximadamente 29mm para o frontal e 20mm para o tape. Essa redução da média de cerca de 4mm no frontal e 3mm no tape, além de atingir o objetivo principal do presente trabalho, que é o consumo desnecessário de materiais, também tem impacto financeiro para a empresa. Com essa redução e correção do tamanho dos componentes, a estimativa anual de redução de custos calculada, aproxima-se de R\$ 570.000. Dessa forma, comprova-se que o resultado do presente trabalho se apresenta como satisfatório e que, a partir do uso do ciclo DMAIC, foi possível cumprir com o objetivo geral estudo, que foi analisar e identificar desperdícios encontrados em uma empresa de manufatura de fraldas descartáveis para propor melhorias e, ao final, avaliar os resultados obtidos.

Além disso, para garantir que as melhorias propostas sejam mantidas ao longo do tempo, foram criados métodos de verificação periódicas dos parâmetros e tamanhos dos componentes, garantindo que haja um controle efetivo sobre os materiais estudados. Em relação às limitações enfrentadas ao longo do desenvolvimento do trabalho, observa-se o tempo de projeto que, apesar do supervisor de processos da empresa ter formalizado o pedido de bloqueios de alteração de parâmetros por senha, não foi suficiente para que essas mudanças fossem totalmente implementadas, visto que essa atividade dependia dos colaboradores da área de eletrônica. Porém, como foram criadas fichas de verificação de parâmetros que eram seguidas diariamente, ainda assim houve controle dos parâmetros observados no IHM garantindo que, mesmo sem o bloqueio por senhas, ainda houvesse um controle efetivo dos parâmetros e do tamanho real dos componentes.

Para que a empresa possa continuar tendo controle do tamanho dos componentes, sugere-se que sejam mantidas as fichas de controle de parâmetros desenvolvidas ao longo do projeto e que, além disso, um colaborador do setor de processos fique responsável por coletar e medir amostras de cada máquina estudada, semanalmente. Além disso, para um projeto de período mais longo, uma possível continuação das melhorias propostas no presente trabalho, seria o estudo de mudanças nos valores especificados para aumentar a sensibilidade e consequentemente facilitar a detecção de anomalias pelo cálculo do Nível Sigma induzindo um processo de melhoria contínua.

REFERÊNCIAS

- Appolinário, F. (2004). *Dicionário de Metodologia Científica. um guia para a produção do conhecimento científico*. São Paulo: Atlas, 2004.
- Beckert, S. F. & Paim, W. S. (2017). Critical analysis of the acceptance criteria used in measurement systems evaluation. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 8, 23.
- Bunce, M., Wang, L., & Bidanda, B. (2008). Leveraging Six Sigma with industrial engineering tools in crateless retort production. *International Journal of Production Research*.
- Carvalho, L. S. R., Menezes, A. H. N., Duarte, F. R., & Souza, T. E. S. (2019). *Metodologia científica: teoria e aplicação na educação a distância*.
- César, F. I. G. (2011). *Ferramentas Básicas da Qualidade*. Editora Biblioteca24horas.
- Chen, Y., Liu, J., & Li, C. (2016). Lean Six Sigma Implementation in Electronics Manufacturing: A Case Study of XYZ Company. *Procedia CIRP*, 56, 57-62.
- George, M. L. (2002). *Lean Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Speed*. McGraw-Hill.
- Gil, A. C. (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa* (4th ed.). Atlas.
- Glushkovsky, A. (2006). Stability Index of Stochastic Processes: The Statistical Process Control Approach.
- Gonsalves, E. P. (2003). Iniciação à pesquisa científica. Alínea.
- Gupta, V., Jain, R., Meena, M. L., & Dangayach, G. S. (2018). Six-sigma application in tire-manufacturing company: a case study. *Journal of Industrial Engineering International*, 14, 511-520.
- Henny, H., Andriana, I., Latifah, A. N., & Haryanto, H. (2019, November). The Application Lean Six Sigma Method Approach to Minimize Waste. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 662(2), 022089. IOP Publishing.
- (n.d.). Independence and Stability. Dunamath. Recuperado de https://dunamath.com/autocorrelation_stability.aspx
- Indrawati, S. & Ridwansyah, M. (2015). Manufacturing continuous improvement using lean six sigma: An iron ores industry case application. *Procedia Manufacturing*, 4, 528-534.
- Ishikawa, K. (1997). *Controle de Qualidade Total*. Elsevier.
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2021). Significance of Quality 4.0 towards comprehensive enhancement in manufacturing sector. *Sensors International*, 2, 100109.
- Lee, S., Kim, S., & Park, J. (2017). Application of Lean Six Sigma to Reduce Defects of Automotive Products. *Procedia Engineering*, 174, 827-834.
- Mandahawi, N. & Obeidat, S. M. (2012). Six Sigma implementation to minimise weight variation for Baby Lido Diaper manufacturing company. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 7(2-4), 243-255.
- McGraw-Hill Education. Mandahawi, N., & Obeidat, S. M. (2012). Six Sigma implementation to minimise weight variation for Baby Lido Diaper manufacturing company. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 7(2-4), 243-255.
- Martinelli, F. B. (2009). *Gestão da Qualidade Total*. Fundação Biblioteca Nacional.
- Montgomery, D. C. & Runger, G. C. (2021). *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*. 7ª edição. Grupo GEN.
- Oakland, J. S. (2003). *Total Quality Management text with cases* (3rd ed.). Routledge.
- Pande, P. S., Neuman, R. P., & Cavanagh, R. (2001). *Estratégia Seis Sigma: Como a GE, a Motorola e outras empresas estão aguçando seu desempenho*. Rio de Janeiro.
- Patyal, V. S., & Maddulety, K. (2015). Interrelationship between total quality management and six sigma: A review. *Global Business Review*, 16(6), 1025-1060.
- Pongboonchai-Empl, T., Antony, J., Garza-Reyes, J. A., Komkowsky, T., & Tortorella, G. L. (2023). Integration of Industry 4.0 technologies into Lean Six Sigma DMAIC: A systematic review. *Production Planning & Control*, 1-26.
- Pyzdek, T. & Keller, P. A. (2018). *The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Rechulski, D. K. & Carvalho, M. M. (2003). *Programas de qualidade seis sigma: características distintivas do modelo DMAIC e DFSS*. Produção em Iniciação Científica da Escola Politécnica da USP.
- Rotondaro, R. G. (2002). *Seis Sigma: Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços*. Editora Atlas S.A.
- Smith, J. R., Jones, L. M., & Patel, K. (2019). Improving Efficiency in Food Manufacturing: A Lean Six Sigma Approach. *International Journal of Lean Six Sigma*, 10(5), 740-758.
- Vergara, S. C. (2006). *Projetos e relatórios de pesquisa em Administração*. Atlas.
- Tenera, A. & Pinto, L. C. (2014). A Lean Six Sigma (LSS) project management improvement model. *IPMA World Congress*.
- TSHTurkey. Baby Diaper Raw Material. Recuperado de <https://www.tshturkey.com/en/baby-diaper-raw-material.html>
- Widodo, A. & Soediantono, D. (2022). Benefits of the six-sigma method (dmaic) and implementation suggestion in the defense industry: A literature review. *International Journal of Social and Management Studies*, 3(3), 1-12.
- Werkema, C. (2012). *Criando a Cultura Lean Seis Sigma* (3rd ed.). Elsevier.