



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LEANE KELLY CRISTOVAM DANTAS BRAGA

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN SEIS SIGMA: REDUÇÃO DE
OCORRÊNCIAS DE ENCOLHIMENTO DE SOLA DE BORRACHA EM UMA
INDÚSTRIA CALÇADISTA DA PARAÍBA**

JOÃO PESSOA - PB

2024

LEANE KELLY CRISTOVAM DANTAS BRAGA

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN SEIS SIGMA: REDUÇÃO DE
OCORRÊNCIAS DE ENCOLHIMENTO DE SOLA DE BORRACHA EM UMA
INDÚSTRIA CALÇADISTA DA PARAÍBA**

Monografia apresentada como trabalho de conclusão do curso de graduação em Engenharia de Produção, Departamento de Engenharia de Produção, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Santana Peruchi

JOÃO PESSOA - PB

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

B813a Braga, Leane Kelly Cristovam Dantas.

Aplicação da metodologia lean seis sigma: redução de ocorrências de encolhimento de sola de borracha em uma indústria calçadista da Paraíba / Leane Kelly Cristovam Dantas Braga. - João Pessoa, 2024.

67 f. : il.

Orientação: Rogério Santana Peruchi.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Lean Seis Sigma. DMAIC. Encolhimento. Calçados.
I. Peruchi, Rogério Santana. II. Título.

UFPB/CT

CDU 658.5(043.2)



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno(a): LEANE KELLY CRISTOVAM DANTAS BRAGA

Título do trabalho: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN SEIS SIGMA:
REDUÇÃO DE OCORRÊNCIAS DE ENCOLHIMENTO DE SOLA DE
BORRACHA EM UMA INDÚSTRIA CALÇADISTA DA PARAÍBA

Trabalho de Conclusão do Curso defendido e aprovado em 17/10/2024 pela banca examinadora:

Orientador(a) - Rogério Santana Peruchi

Examinador(a) interno(a) - Lucas Guedes de Oliveira

Examinador(a) externo(a) - Naila Antunis de Rezende

LEANE KELLY CRISTOVAM DANTAS BRAGA

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN SEIS SIGMA: REDUÇÃO DE
OCORRÊNCIAS DE ENCOLHIMENTO DE SOLA DE BORRACHA EM UMA
INDÚSTRIA CALÇADISTA DA PARAÍBA**

Monografia apresentada como trabalho de
conclusão do curso de graduação em
Engenharia de Produção, Departamento de
Engenharia de Produção, Centro de
Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba.

Aprovado em: 17/10/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rogério Santana Peruchi

Orientador – UFPB

Prof. Dr. Lucas Guedes de Oliveira

Examinador 1 – UFPB

Prof. Dr. Naia Antunis de Rezende

Examinador 2 – UFPB

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me permitir chegar até aqui, pois mesmo diante de todas as dificuldades Ele me fortaleceu e me deu o sustento em todos os momentos de minha vida. Aos meus queridos pais, que sempre me apoiaram e me deram suporte quando precisei, sendo a minha rede de apoio nessa caminhada. Lembro-me ainda, que minha querida mãe me acompanhava nos estudos e ficava com minha filha ainda bebê na sala de aula, já que eu amamentava de forma exclusiva na época e o meu regime domiciliar já havia encerrado. Gratidão aos meus filhos, que são a minha maior riqueza nesta terra. Louise, filha amada, tão pequena, mas me encorajava a estudar. E o Matheus, meu caçulinha que veio para me dar mais energia nessa etapa final. Meus filhos enchem o meu coração de alegria, e sem dúvidas são o maior motivo de me manter firme durante toda a graduação. Dedico essa conquista a vocês.

Gratidão a Marcus, meu esposo, por compartilhar comigo toda essa trajetória, contribuindo também para que eu chegasse até aqui.

Gratidão a toda minha família (minha sogra, meu sogro, tias e tios) e aos meus amigos, que de alguma forma contribuíram nesta jornada.

Agradeço ao meu orientador Prof. Rogério Peruchi que aceitou fazer parte dessa etapa tão importante, dedicando parte do seu tempo para me auxiliar na realização deste trabalho.

A todos os servidores e docentes da UFPB que contribuíram para a minha formação, seja direta ou indiretamente ao longo desses anos.

E por fim, à empresa em que atuo, por me permitir realizar esse trabalho, disponibilizando prontamente todas as informações necessárias, bem como a todas as pessoas que contribuíram para sua execução.

Sou muito grata por tudo.

RESUMO

No cenário atual, em um mundo globalizado e competitivo, observa-se consumidores mais atentos e exigentes quanto à qualidade dos produtos e serviços consumidos. O Six Sigma tem sido um bom aliado das empresas como metodologia para evitar defeitos nos produtos e aumentar o índice de satisfação dos clientes, sendo o DMAIC umas de suas principais ferramentas para ajudar a identificar oportunidades de melhorias e a encontrar causas raízes de problemas. Neste trabalho, o DMAIC e os conceitos do *Lean Seis Sigma* foram utilizados com o objetivo de avaliar oportunidades de melhorias que pudessem diminuir o número de ocorrências por encolhimento fora do previsto de uma família de calçados em uma empresa calçadista. A necessidade foi percebida a partir de reclamações e pelo considerável índice de troca em e-commerce realizadas por consumidores, que reclamaram que o calçado estava menor e/ou não compatível com o tamanho das tabelas de medidas disponibilizadas pela marca em seu site de vendas. Desta forma, a metodologia DMAIC foi utilizada para a realização do projeto, a fim de identificar as causas raízes, e que pôde contribuir positivamente para a empresa viabilizando o desenvolvimento do plano de ação e a implementação de melhorias de processo. As ações do projeto se deram pela utilização de ferramentas de gestão da qualidade muito utilizadas no *Lean Seis Sigma*, como por exemplo, a matriz SIPOC, mapeamento do processo produtivo, diagrama de Ishikawa e 5 PQ 's. Como resultado, foi possível reduzir o número total de ocorrências por encolhimento da linha de calçados e obter uma melhor percepção do consumidor final em termos de qualidade e confiabilidade do produto, agregando um maior valor à marca.

Palavras-chave: *Lean Seis Sigma*. DMAIC. Encolhimento. Calçados.

ABSTRACT

In the current scenario, in a globalized and competitive world, consumers are more attentive and demanding regarding the quality of products and services consumed. Six Sigma has been a good ally for companies as a methodology to avoid defects in products and increase customer satisfaction rates, with DMAIC being one of its main tools to help identify opportunities for improvement and find root causes of problems. In this work, DMAIC and the concepts of Lean Six Sigma were used with the objective of evaluating opportunities for improvements that could reduce the number of occurrences of shrinkage outside of expectations of a family of shoes in a footwear company. The need was realized based on complaints and also due to the considerable rate of exchanges in e-commerce carried out by consumers, who complained that the shoes were smaller and/or not compatible with the size of the measurement tables made available by the brand on its sales website. In this way, the DMAIC methodology was used to carry out the project, in order to identify the root causes, and which could contribute positively to the company, enabling the development of the action plan and the implementation of process improvements. The project's actions were carried out through the use of quality management tools widely used in Lean Six Sigma, such as the SIPOC matrix, production process mapping, Ishikawa diagram and 5 PQ's. As a result, it was possible to reduce the total number of incidents due to shoe line shrinkage and obtain a better perception of the end consumer in terms of product quality and reliability, adding greater value to the brand.

Keywords: Lean Six Sigma. DMAIC. Shrinkage. Shoes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 -	Criando um modelo de fatorial completo	27
Figura 02 -	Tipos de experimentos	27
Figura 03 -	Fatores, níveis e sequência DOE	28
Figura 04 -	Fluxograma do processo de Injeção (Resumido)	29
Figura 05 -	Visualização do processo de Injeção	29
Figura 06 -	Operações do processo de Fabricação do calçado	34
Figura 07 -	Fluxograma do processo de Fabricação do calçado	34
Figura 08 -	Itens do processo de Injeção de sola	35
Figura 09 -	<i>Project Charter</i>	39
Figura 10 -	MSA diagnóstico	40
Figura 11 -	Método de medição antes e após treinamento	40
Figura 12 -	MSA após ajuste em método de medição	41
Figura 13 -	Gráfico de Pareto	42
Figura 14 -	Relatório resumo de calçados	43
Figura 15 -	Gráfico carta controle antes do projeto	43
Figura 16 -	Gráfico de evolução da retração da sola (%) x dias	44
Figura 17 -	Ishikawa do processo de semifinal	45
Figura 18 -	Ishikawa do processo de Peletização	46
Figura 19 -	Ishikawa do processo de Injeção	47
Figura 20 -	Análise de Regressão: Medição quente + Medição Pinheiro + Dureza versus % retração	49
Figura 21 -	Regressão múltipla	49
Figura 22 -	Pareto (Modelo completo)	53
Figura 23 -	Análise de variância (Modelo completo)	54
Figura 24 -	Método <i>Bacward</i>	54
Figura 25 -	Pareto (Modelo reduzido)	56
Figura 26 -	Análise de variância	57
Figura 27 -	Coeficientes codificados	57
Figura 28 -	Teste de normalidade dos resíduos	57
Figura 29 -	Efeitos principais - DOE	58
Figura 30 -	Interação entre os parâmetros - DOE	58

Figura 31 -	<i>Baseline</i> do % de reprovação fora do especificado	61
Figura 32 -	Carta P do % de Reprovação das solas (Antes X Depois) das melhorias	61

LISTA DE TABELAS E QUADROS

TABELAS:

Tabela 01 -	Critério de aceitação do R&R	21
Tabela 02 -	Medições em (mm) x Quantidade	43
Tabela 03 -	Combinações dos parâmetros	53
Tabela 04 -	Coleta de dados DOE	53

QUADROS:

Quadro 01 -	SIPOC	38
Quadro 02 -	Críticos para qualidade	39
Quadro 03 -	5 por quês	61
Quadro 04 -	Ações de melhorias	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BB -	<i>Black Belts</i>
CD -	Centro de distribuição
CEP -	Controle estatístico de controle
CP -	Índice de Capacidade de processo
CPK -	Índice de Capacidade Potencial
DMAIC -	Definir-medir-analisar-implementar-controlar
DOE -	<i>Design of Experiments</i>
GB -	<i>Green Belts</i>
IQA -	Instituto da Qualidade Automotiva
LSE -	Limite Superior de Especificação
LIE -	Limite Inferior de Especificação
LSS -	Lean Seis Sigma
MBB-	<i>Master Black Belts</i>
MP -	Matéria prima
MSA -	Análise do Sistema de Medição
NC -	Não conformidade
R2 -	R-Quadrado
R2(aj) -	R-Quadrado ajustado
R2(pred) -	R-Quadrado predito
SGQ -	Sistema de gestão da qualidade
SIPOC -	Supplier-input-process-output-customer
VOC -	<i>Voice of customer</i>
WB -	<i>White Belts</i>
YB -	<i>Yellow Belt</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	Objetivo geral	16
1.2.2	Objetivo específico	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	METODOLOGIA SEIS SIGMA	17
2.1.1	Origens, definições, objetivos e métodos	17
2.1.2	MSA	19
2.1.2.1	Estudo de R&R- Repetibilidade e Reprodutibilidade	20
2.1.3	Controle estatístico de processo (CEP)	21
2.1.4	Análise de Regressão	24
2.1.5	DOE	26
2.2	PROCESSO DE INJEÇÃO DE BORRACHA EXPANDIDA	28
3	MÉTODO DE PESQUISA	30
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	30
3.2	ETAPAS DE EXECUÇÃO USANDO O MÉTODO DMAIC	31
3.3	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1	DEFINIR	33
4.1.1	Mapeamento do processo relevante	34
4.1.2	Identificar potenciais características críticas da qualidade	37
4.1.3	Definição do Project Charter	38
4.2	MEDIR	39
4.2.1	Procedimento operacional padrão de medição	39
4.2.2	Avaliação da Capabilidade Baseline	41
4.3	ANALISAR	45
4.3.1	Identificação dos potenciais causas	45
4.3.2	Causas raízes	48
4.3.3	Análise gráfica dos acompanhamentos	48
4.4	MELHORAR	59
4.4.1	Plano de ação para as causas raízes	59

4.5	CONTROLAR.....	60
4.5.1	Comparativo de capacidade do processo melhorado X baseline.....	60
4.5.2	Plano de controle para sustentabilidade de melhorias.....	62
5	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias (2024), o Brasil é o 5º maior produtor de calçados do mundo e o setor calçadista representa 2% do PIB da Indústria da Transformação Brasileira, ocupando mais de 280 mil postos de trabalho.

O setor brasileiro calçadista é composto por cerca de seis mil indústrias, onde a região Nordeste possui uma participação mais significativa, com destaque os estados do Ceará e da Paraíba. No entanto, o estado do Rio Grande do Sul apresenta a maior participação tanto do volume de emprego (30%), quanto no número de empresas (34,6%). Neste segmento lista-se como as principais empresas, a Calçados Beira Rio S/A, Alpargatas, Grendene e a Vulcabras, dentre outras (ABICALÇADOS, 2024).

No Brasil, destaca-se que as microempresas, aquelas compostas por até 19 funcionários, representam 74% das empresas, porém são responsáveis por apenas 10,2% do emprego. Por sua vez, as grandes empresas, que são aquelas com mais de 500 funcionários, apesar de caracterizarem apenas 1,7% das empresas do país, concentram 50,9% do emprego (ABICALÇADOS, 2024, p. 37).

Diante da busca pelo impulsionamento da economia global em contraste com as constantes crises financeiras e dificuldade de captação de recursos, as organizações precisam cada vez mais estarem atentas às necessidades de seus consumidores.

Os autores Quelhas, Alves e Filardo (2004) abordam que um princípio básico de gestão deve envolver aspectos operacionais, bem como a política e a participação direta da diretoria com o processo e melhoria contínua para a definição de parâmetros avaliadores.

Esses sistemas visam auxiliar a gestão das organizações, sendo uma decisão estratégica de promover a melhoria no desempenho global de forma sólida e sustentável (ISO, 2015). Karapetrovic e Willborn (1998) traz que o sistema de gestão tem o enfoque principal, estruturar recursos e processos com alvo no alcance de objetivos e no aperfeiçoamento do desempenho das organizações. Um desses sistemas é o Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ). Basicamente, o SGQ é

composto por diversos itens que trabalham em conjunto e em sinergia para atender as necessidades e políticas que garantam a eficácia das ações com foco na satisfação dos clientes.

Uma metodologia de gestão que vem sendo bastante utilizada é o Lean Seis Sigma (LSS). Ela combina dois sistemas distintos de gerenciamento, um deles com o uso da ferramenta do Lean, que visa reduzir ou eliminar desperdícios, aumentando a eficiência do processo, e o outro, é o conceito estatístico do Seis Sigma que busca reduzir a variabilidade e melhorar a qualidade dos processos (Lopes, 2023).

O Lean Seis Sigma é uma filosofia que tem sido usado na redução de custos, aumento da qualidade de produtos e serviços, gerando maior satisfação do cliente. (Peruchi et al., 2020).

Nesse contexto, observa-se por parte das empresas essa busca e engajamento em manter seus clientes fidelizados, de forma que se ao obter êxito em um bom relacionamento com sua clientela, consequentemente se manterá bem posicionado no mercado. Logo, entende-se que falhas no processo produtivo, índice de não conformidades, produtos defeituosos e reclamações de clientes devem ser monitorados e submetidos a avaliação e análises para a melhoria contínua.

Diante dessa explanação, ainda pouco se sabe sobre a aplicação da literatura Seis sigma na indústria de calçados. Assim, a metodologia Seis Sigma pode ser uma grande oportunidade a ser explorada para a indústria de calçados, visto que poderá contribuir com a melhoria na qualidade dos produtos, além de reduzir a variabilidade dos processos.

1.1 JUSTIFICATIVA

O trabalho foi realizado em uma indústria brasileira de sandálias e calçados. Foi observado que após um período da fabricação, os produtos de modelo fechado eram sinalizados por ocorrências internas e externas para o problema de tamanho menor que o especificado. O tamanho de sola fora do padrão da linha de calçados fechados é um ofensor que está entre o Top 5 dos motivos de troca entre os consumidores.

Atualmente, cerca de 80% do material inspecionado do centro de distribuição estão fora das especificações quanto ao problema de dimensional, o que gera um

impacto negativo na percepção da marca. E isso tem sido motivo de grande preocupação dos gestores, visto que o custo de produto acabado da família desses calçados é um dos maiores dentre o leque de produtos produzidos pela marca.

Diante disso, essa pesquisa utilizou com base a metodologia DMAIC para a redução do número de ocorrências por encolhimento das solas da linha de calçados fechados no centro de distribuição da fábrica, realizado através de um projeto Green Belt.

A partir da aplicação da metodologia de melhoria de processos, espera-se que as possíveis causas, as causas raízes sejam identificadas, seguindo pela elaboração do plano de ações, e o controle das melhorias implementadas. Desta forma deseja-se obter uma redução nos números de ocorrências de não conformidades nas auditorias de produto relacionadas a problema de tamanho fora do especificado, além de estabelecer um maior controle do processo para evitar que o problema retorne.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Identificar causas e dar solução para o número existente de ocorrências por encolhimento de solas de borrachas de calçados fechados a partir da aplicação da metodologia Lean seis sigma.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar o problema de qualidade prioritário;
- Analisar, melhorar e homologar o sistema de medição;
- Calcular a capacidade inicial do processo;
- Identificar potenciais causas e determinar causas raízes do problema de qualidade;
- Executar plano de ação sobre as causas raízes e estabelecer melhorias de processo;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 METODOLOGIA SEIS SIGMA

2.1.1 Origens, definições, objetivos e métodos

A Motorola é a empresa que assina o Seis Sigma, por meio do seu ex-presidente Bob Galvin e do engenheiro Bill Smith, em 1987. Para Caulcutt (2001), a filosofia Seis Sigma é uma técnica que propõem mudanças utilizadas pela diretoria em distintos setores para compreender e minimizar a variação dos processos de produção e avaliar a inter-relação estratégicas de negócios, bem como focalizar na obtenção de melhorias dos resultados referente ao plano estratégias das organizações.

Desta forma, a implantação da metodologia nas organizações visa aumentar a qualidade através da melhoria contínua dos processos envolvidos na produção de um bem ou de um serviço, considerando os aspectos importantes de um negócio (Pfeifer et al., 2004).

O Seis Sigma é uma metodologia que permite às empresas reverem sua situação atual existente e orientá-los na realização de melhorias (ERBIYIK; SARU, 2015). Para Pepper e Spedding e (2010), Seis Sigma é uma filosofia de qualidade que deve ser aplicada como recurso para o início de uma mudança cultural e operacional, levando a uma transformação total da cadeia de suprimentos de uma organização.

De acordo com Lobo e Silva (2019), a passagem de um sigma para outro maior eleva em no mínimo 10% a lucratividade, no entanto as empresas brasileiras que utilizam o Sistema Seis Sigma alcançam no máximo entre 3 e 4 sigmas. O sistema vai do *whitebelt*, que é o operacional do primeiro estágio do 6 Sigma, passando pelo *yellow*, *green*, até chegar ao nível *blackbelt*. Acima destes, existe o Champion, que funciona como uma espécie de gerente geral do projeto.

De forma mais específica essa hierarquia segue o seguinte (Rotondaro et al., 2002):

- *Champions*: São executivos que patrocinam os projetos. Eles atuam facilitando e liderando as pessoas chaves, ofertando o suporte necessário do Seis Sigma na organização;
- *Master Black Belts* (MBB): Auxiliam os *Champions* inserção do projeto, atuando como elo entre a diretoria das áreas e os membros da equipe do projeto.
- *Black Belts* (BB): Lideram as equipes no comando do projeto. Agregam com seus conhecimentos mais técnicos e estatísticos e podem ser realizar treinamentos aos *Green Belts*.
- *Green Belts* (GB): Colaboram junto as equipes que são lideradas pelos *blackbelts*, além disso podem ser líderes de menores projetos.
- *Yellow Belts* (YB): Detêm conhecimento mais básico em relação aos outros *belts*, no entanto, possuem normalmente conhecimento em estatística e qualidade, auxiliando no gerenciamento dos projetos.
- *White Belts* (WB): São profissionais com treinamento mais básico dos fundamentos da metodologia, mas que atuam dando suporte aos demais belts na implementação dos projetos.

A filosofia do Seis sigma pode ser aplicada desde o desenvolvimento de projetos mais complexos como a fabricação de aviões até operações mais simples como a entrega de pizzas. No entanto, é legítimo que quanto maior é o sigma, menor sua tendência a erros e defeitos.

Para implementar essa metodologia é preciso promover uma grande mudança cultural na empresa, realizar a formação de especialistas com a realização de treinamentos que corresponda a cada nível, além de ter o apoio ativo da direção. A média de uma empresa chegar ao padrão Seis Sigma são de cinco anos (Lobo e Silva, 2019).

O Seis sigma pode ser utilizado em dois modelos DMAIC e DMADV. Sendo o DMAIC (*define, measure, analyze, improve e control*) utilizado para melhorias de processos já existentes, reduzindo e eliminando defeitos. E o DMADV (*define, measure, analyze, design e verify*) sendo mais associado a novos projetos destinados a atender aos requisitos dos clientes. O modelo a ser seguido será o DMAIC, que será detalhado ao longo deste trabalho.

2.1.2 MSA

Para IQA (2004), o sistema de medição é o conjunto de instrumentos ou dispositivos de medição, padrões, operações, métodos que podem ser usados para mensurar a unidade de medição como também para realizar a correção dos atributos avaliados.

De acordo com o site LabDGE, o MSA (avaliação do sistema de medição) é uma ferramenta muito importante na qualidade, que proporciona grandes avanços em custo, produtividade e qualidade dos produtos e processos, identificando variações na precisão dos instrumentos de medição utilizados para monitoramento de processos.

O laboratório Labelo (2020), define o MSA como um método estatístico para determinar a variação que existe dentro de um sistema de medição e controle. Sendo utilizado para aperfeiçoar o sistema de medição para o uso, avaliando sua exatidão, precisão e estabilidade, e ainda possibilitar a redução de perdas.

Para Rotondaro et al. (2002), o objetivo da análise de um sistema de medição é o de compreender as fontes de variação que podem influenciar nos resultados de medição.

A obtenção de dados de medição pode ser realizada a partir da observação de um processo e sendo coletado na medida que são disponibilizados durante a observação. Podem também ser coletados a partir de um experimento planejado, que simula variações nos fatores controlados do processo. (Montgomery; Runger, 2003).

Ainda segundo o IQA (2004), existe uma relação diretamente proporcional entre o benefício do uso dos dados de medição com a qualidade e confiabilidade desses dados. Logo, para que haja a garantia de que benefício do uso de dados de medição seja superior ao custo de sua obtenção, recomenda-se a avaliação dos dados coletados. Visto que os dados são o pilar que direciona o controle de qualidade, é crucial a garantia de sua veracidade. Para a avaliação do sistema, alguns pontos podem ser considerados:

Estabilidade do sistema de medição – deve apresentar estabilidade estatística, com variação apenas devido a presença de causas comuns;

Propriedades estatísticas – devem apresentar consistência ao longo do processo de medição, realizando os necessários ajustes;

Sistema com adequada sensibilidade – o instrumento utilizado na medição deve possuir a especificação apropriada, além de ser eficiente e eficaz na identificação de variação do processo ou alterações no produto.

2.1.2.1 Estudo de R&R- Repetibilidade e Reprodutibilidade

O estudo de R&R pode ser considerado um excelente aliado para entender as variações relativas ao sistema de medição e conseguir atuar na diminuição das mesmas. Visto que todos os dispositivos de medição podem apresentar variação e uma incerteza sobre a medição realizada, o R&R estuda a variabilidade desse sistema através dos dois parâmetros, que são a Repetitividade e a Reprodutibilidade.

A primeira é dada por uma variação dentro do sistema, reproduzida por ensaios que são realizados sob as mesmas condições sendo correspondente à variabilidade inerente ao equipamento de medição. Já a reprodutibilidade pode ser definida como a variação identificada no cálculo da média de operadores diferentes, com o uso de um mesmo equipamento para a medição de uma mesma característica e peça. (Almeida, 2017). O estudo de R&R é realizado, avaliando os seguintes pontos:

- **Quantidade de peças** – Entre 5 e 10 peças, a fim de representar a variação do processo de produção.
- **Repetições** – As medições devem ser realizadas entre 2 a 6 vezes.
- **Operadores** – Pelo menos 3 operadores diferentes que já realizem as medições em sua rotina.

A partir da coleta de dados é possível calcular a reprodutibilidade e repetibilidade do sistema a ser avaliado. O R&R é uma estimativa da variação combinada da repetitividade e da reprodutibilidade. Isto é, o índice de R&R é a variância resultante da soma das variâncias dentro do sistema e entre sistemas.

$$\sigma^2_{R\&R} = \sigma^2_{\text{repetitividade}} + \sigma^2_{\text{reprodutibilidade}}$$

$$(R\&R)^2 = (VE)^2 + (VA)^2$$

Em que:

- $\sigma^2_{R\&R}$: é a variância do R&R do dispositivo de medição;

- $\sigma^2_{\text{repetitividade}}$: é a variância devido a repetitividade do sistema e que possui como base a média das amplitudes médias de cada avaliador;
- $\sigma^2_{\text{reprodutibilidade}}$: é a variância devido a reprodutibilidade do sistema e que possui como base a amplitude das médias de cada avaliador;

Há uma regra geral de aceitação do sistema de medição (Tabela 01), que é apresentada no Manual de MSA (AIAG, 2010).

Tabela 01 – Critério de aceitação do R&R

Abaixo de 10%	Pode ser considerado aceitável	Recomendável, especialmente útil quando tentamos ordenar ou classificar peças ou quando for requerido um controle apertado do processo.
Entre 10% e 30%	Pode ser aceito para algumas aplicações	A decisão deve ser baseada primeiro, por exemplo, na importância da aplicação da medição, custo do dispositivo de medição, custo do retrabalho ou reparo. O sistema de medição deve ser aprovado pelo cliente.
Acima de 30%	Considerado Inaceitável	Todos os esforços devem ser tomados para melhorar o sistema de medição. Esta condição pode ser resolvida pelo uso de uma estratégia apropriada para a medição; por exemplo, utilizar a média de diversas medições da mesma característica da mesma peça a fim de reduzir a variabilidade da medida final.

Fonte: Menezes (2013)

2.1.3 Controle estatístico de processo (CEP)

O Controle Estatístico de Processos (CEP) é considerado uma das 7 ferramentas da qualidade, sendo um método de coleta e verificação de amostra de resultados de um processo, que permite controlar as suas características chaves, visando sua melhoria.

A utilização das cartas de controle permite apurar se os processos estão estáveis, isto é, se estão sujeitos tão somente a causas comuns, ou se estão sofrendo efeitos de causas especiais, o que faz com que tenham variações fora do que é estatisticamente previsível ou aceitável. Mas tais cartas se baseiam no próprio desempenho do processo para fazer a análise se atendem às especificações de

projeto do produto ou de seus componentes. Para construir uma carta de controle, é necessário seguir os seguintes passos:

- Definir o período de tempo para coletar os dados;
- Coletar os dados;
- Plotar os dados no gráfico;
- Calcular a média dos dados;
- Calcular os limites de controle superior e inferior;

Diante disso, será possível observar quaisquer sinais "fora do controle" ou locais onde os dados estejam fora dos seus limites de controle. Dentro do controle estatístico de processo, têm-se os limites superiores (LSE) e inferior (LIE) de especificação, a média do processo (μ) e o desvio-padrão do processo (σ), são parâmetros fundamentais para a análise de capacidade do processo. Ademais, os índices de capacidade, como C_p e C_{pk} , para quantificar a variação do processo em relação aos limites de especificação superior (LSE) e inferior (LIE).

- Índice de capacidade (CP): é uma métrica que quantifica o quanto o processo é capaz em atender às especificações de um determinado produto.

Ele é calculado pela equação abaixo:

$$C_p = \frac{LSE - L}{6\sigma} = \frac{\text{variação permitida dentro das especificações}}{\text{variação esperada do processo}}$$

Em que:

- σ é o desvio padrão das amostras;
- LSE é o limite superior de especificação;
- LIE é o limite inferior de especificação;

O C_p descreve a relação entre o espaço disponível para variação de acordo com as especificações e o espaço ocupado pela variação do processo. E quanto mais próximo o valor de CP de 1, indica que a variação do processo é adequada em relação

às especificações, já valores maiores que 1 indicam que o processo tem menos probabilidade de produzir produtos fora das especificações.

Para caracterizar a localização do processo usamos o Cpk, que avalia a distância da média do processo com a especificação mais próxima dela, da seguinte forma:

$$Cpk = \min \left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - L}{3\sigma} \right)$$

Em que:

- μ é a média do processo;
- σ é o desvio padrão das amostras;
- LSE e LIE são os limites de especificação;

Quando o processo opera centralizado na nominal (alvo da especificação), os dois índices (Cp e Cpk) terão o mesmo valor, ou valores muito próximos. A medida que a média do processo se desvia da nominal, o Cpk vai ficando menor que o Cp. Um valor Cpk próximo de 1 indica que o processo é capaz. Valores menores que 1 indicam que o processo pode ter dificuldade em atender às especificações do produto. (Montgomery, 2017).

Para variáveis aleatórias do tipo atributo o uso da carta P é realizado para verificar se a proporção de não- conformidades está sob controle estatístico (Campos, 2019). A linha nominal(central) e os limites de controle para este tipo de carta são dados por:

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}} \\ LC &= \bar{p} \\ LIC &= \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}} \end{aligned}$$

Em que:

- $\bar{p}$ é o valor observado da fração média de não conformes.

Já os índices PPM e Zbench são utilizados para avaliar a capacidade de um processo, que é um meio de garantir a qualidade dos produtos e verificar se as especificações do cliente estão sendo atendidas. O PPM, partes por milhão, é calculado através da medição da quantidade de peças defeituosas em grupos de produtos produzidos em um determinado período de tempo. Por outro lado, o Zbench é um índice que estima a capacidade sigma de um processo e é calculado medindo o número de desvios padrão da nominal até o ponto que define os defeitos.

Para o cálculo de PPM, temos:

$$ppm = \frac{\text{peças defeituosas}}{\text{peças produzidas}} * 10^6$$

Para um nível sigma específico, denominado Zbench, temos a seguinte condição:

$$\min(LSE - \mu - LIE) \geq Z_{bench} * \sigma$$

Logo,

$$\text{Nível sigma} = Z_{bench} = \min\left(\frac{LSE - \mu}{\sigma}; \frac{\mu - LIE}{\sigma}\right)$$

2.1.4 Análise de Regressão

A análise de regressão é um método estatístico que permite examinar a relação entre duas ou mais variáveis e identificar quais delas têm maior impacto sobre um tema, permitindo modelar a relação entre as variáveis e prever valores com base no modelo (CHEIN, 2019). O coeficiente de determinação (R²) indica o quão bem o modelo de regressão se ajusta aos dados e faz previsões precisas. Os fatores de regressão a serem avaliados podem ser classificados em variáveis dependentes e independentes:

- Variáveis dependentes: É o fator mais importante que está tentando compreender ou prever.
- Variáveis independentes: São os fatores que podem impactar a variável dependente.

O modelo de regressão linear traz a ideia de estimar uma reta que melhor descreva a relação entre as variáveis, e depende de cinco estatísticas básicas:

- a) Média de $x = \bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$;
- b) Desvio padrão de $X (S_X = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2})$;
- c) Média de Y ;
- d) Desvio padrão Y ;
- e) Correlação de X e Y .

Sendo assim, possível calcular a reta de regressão, sabendo que regressão de Y passa pelos pontos médios $(\bar{X}, \bar{Y})$. Para a inclinação da reta, temos:

$$\beta_1 = \frac{r_{sy}}{s_x}$$

Com intercepto da reta de regressão:

$$\bar{Y} - \beta_1 \bar{X}$$

Existem mais de um modelo de regressão. A regressão linear simples e a linear múltipla são um deles.

- Modelo de regressão linear simples: A regressão linear simples consegue examinar a relação linear entre duas variáveis contínuas: uma resposta (y) e um preditor (x):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i$$

Onde Y_i representa a variável dependente e; β_0 são a constante ou intercepto; X_i é a variável independente na equação.

- Modelo de regressão linear múltipla: A regressão linear múltipla examina as relações lineares entre uma resposta contínua e dois ou mais preditores.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_n X_n + \epsilon$$

Onde Y_i é uma variável dependente, β representa seus estimadores e ε representa o resíduo ou erro.

Após ajustar um modelo linear usando análise de regressão, o R^2 será calculado para verificar o quão os dados estão próximos da linha de regressão ajustada, assim sendo possível avaliar se o modelo consegue fazer previsões precisas. O R^2 pode variar entre 0 e 100% e quanto mais próximo de 100%, melhor o modelo se ajusta aos dados.

De acordo com Stock e Watson (2010), o estimador de mínimos quadrados ordinários realiza a seleção dos coeficientes, ajustando e aproximando as curvas o máximo possível aos dados coletados sendo possível acompanhar ou projetar a evolução de um fato. Essa proximidade é calculada pela soma dos quadrados dos resíduos ao se medir Y dado X . Então, temos que o estimador mínimo quadrados ordinários para inclinação β_1 e intercepto β_0 é dado por:

- $$\beta_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} = \frac{S_{XY}}{S_X^2}$$
- $$\beta_0 = \bar{Y} - \beta_1 \bar{X}$$

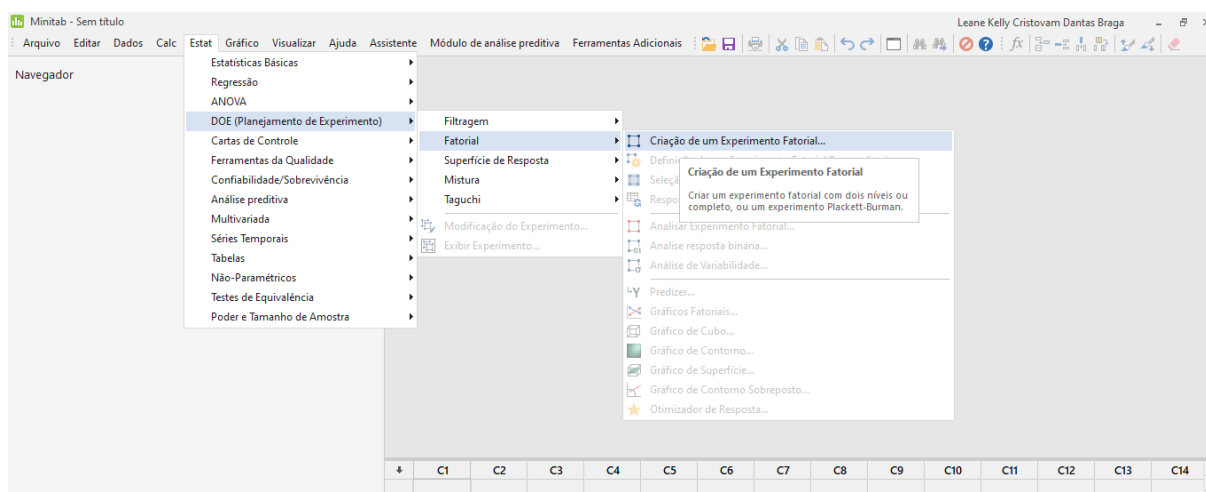
2.1.5 DOE

DOE é um experimento planejado que combina uma série de ensaios ou testes, nos quais altera-se propositalmente as variáveis de entrada ao mesmo tempo em que se observa as respostas (MINITAB, 2024). Na indústria esses tipos de experimentos podem ser usados para rastrear e de forma investigativa avaliar as variáveis de processo que afetam a qualidade de um produto.

De acordo com Ranga et al. (2013), o planejamento de experimentos é um método organizado e estruturado usado para determinar a relação entre os fatores de entrada e saída de processo. Na abordagem de um experimento, primeiramente, há a seleção das variáveis a fim de determinar quais são as mais relevantes para o experimento e no segundo momento ocorre a otimização, escolhendo as melhores configurações destas variáveis mais importantes.

Para o desenvolvimento de fatorial completo deve-se primeiramente elaborar um desenho experimental para ser testado e coletado conforme a condução do experimento. Com o auxílio do *software* Minitab é possível gerar o modelo do experimento (Figura 01).

Figura 01 – Criando um modelo de fatorial completo



Fonte: Autoria Própria (2024).

No exemplo (Figura 02), foram utilizados 4 fatores para 2 níveis cada, portanto o número de combinações para 24 é dezesseis, e visto que foi eleito 3 réplicas para cada uma delas, temos um total de 48 rodadas. Na Figura 03, pode-se observar a ordem de realização dessas 48 rodadas:

Figura 02 – Tipos de experimentos

Experimentos Fatoriais Disponíveis (com Resolução)																
Ensa	Fatores															
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
4	Com	III														
8		Com	IV	III	III	III										
16			Com	V	IV	IV	IV	III	III	III	III	III	III	III		
32				Com	VI	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV		
64					Com	VII	V	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV		
128						Com	VIII	VI	V	V	IV	IV	IV	IV		

Resolução Disponível III Experimentos Plackett-Burman					
Fatores	Ensaio	Fatores	Ensaio	Fatores	Ensaio
2-7	12, 20, 24, 28, ..., 48	20-23	24, 28, 32, 36, ..., 48	36-39	40, 44, 48
8-11	12, 20, 24, 28, ..., 48	24-27	28, 32, 36, 40, 44, 48	40-43	44, 48
12-15	20, 24, 28, 36, ..., 48	28-31	32, 36, 40, 44, 48	44-47	48
16-19	20, 24, 28, 32, ..., 48	32-35	36, 40, 44, 48		

Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 03 – Fatores, níveis e sequência DOE

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8-T
	OrdemPad	OrdemEns	PtCentral	Blocos	Tempo	Temperatura	Pressão	Lado
1	1	1	1	1	380	160	85	E
2	2	2	1	1	420	160	85	E
3	3	3	1	1	380	170	85	E
4	4	4	1	1	420	170	85	E
5	5	5	1	1	380	160	120	E
6	6	6	1	1	420	160	120	E
7	7	7	1	1	380	170	120	E
8	8	8	1	1	420	170	120	E
9	9	9	1	1	380	160	85	D
10	10	10	1	1	420	160	85	D
11	11	11	1	1	380	170	85	D
12	12	12	1	1	420	170	85	D
13	13	13	1	1	380	160	120	D
14	14	14	1	1	420	160	120	D
15	15	15	1	1	380	170	120	D
16	16	16	1	1	420	170	120	D
17	17	17	1	1	380	160	85	E
18	18	18	1	1	420	160	85	E
19	19	19	1	1	380	170	85	E
20	20	20	1	1	420	170	85	E
21	21	21	1	1	380	160	120	E
22	22	22	1	1	420	160	120	E
23	23	23	1	1	380	170	120	E
24	24	24	1	1	420	170	120	E
25	25	25	1	1	380	160	85	D
26	26	26	1	1	420	160	85	D
27	27	27	1	1	380	170	85	D
28	28	28	1	1	420	170	85	D
29	29	29	1	1	380	160	120	D
30	30	30	1	1	420	160	120	D
31	31	31	1	1	380	170	120	D
32	32	32	1	1	420	170	120	D
33	33	33	1	1	380	160	85	E
34	34	34	1	1	420	160	85	E
35	35	35	1	1	380	170	85	E
36	36	36	1	1	420	170	85	E
37	37	37	1	1	380	160	120	E
38	38	38	1	1	420	160	120	E
39	39	39	1	1	380	170	120	E
40	40	40	1	1	420	170	120	E
41	41	41	1	1	380	160	85	D
42	42	42	1	1	420	160	85	D
43	43	43	1	1	380	170	85	D
44	44	44	1	1	420	170	85	D
45	45	45	1	1	380	160	120	D
46	46	46	1	1	420	160	120	D
47	47	47	1	1	380	170	120	D
48	48	48	1	1	420	170	120	D

Fonte: Autoria Própria (2024).

2.2 PROCESSO DE INJEÇÃO DE BORRACHA EXPANDIDA

A injeção de borracha para a produção de sandálias e calçados é um processo bastante automatizado de injeção de polímeros em matrizes ou moldes. Devido a tecnologia utilizada, os calçados injetados são mais leves e flexíveis, oferecendo conforto e maciez ao usuário. Além disso, a injeção de polímeros resulta em uma matéria prima mais homogênea dentro do molde, o que torna o calçado mais resistente a desgastes, proporcionando uma maior durabilidade.

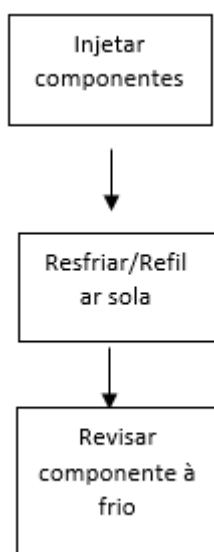
O material usado para ser injetado antes passa por todo um processo de preparação. Existe a formulação que define as matérias primas e quantidades a serem

utilizadas do produto a ser produzido. Em seguida, essas MP's passam por uma mistura em ambiente controlado, com especificações de parâmetros, tais como a temperatura, pressão e tempo de mistura, resultando em uma massa laminada em mantas.

Após esse processo, as mantas adicionadas a agente de expansão e outras matérias primas passam pela peletização, transformando-se em pellets, por meio de processo mecânico sobre pressão, calor e humidade. O formato de pellet é utilizado para facilitar a fluidez da injeção, evitando o entupimento do bico do injetor.

Durante o fluxo de injeção, ilustrados nas Figuras 04 e 05, os parâmetros de controle como a velocidade de injeção, tempo de cura, temperatura do molde, temperatura do injetor e pressão são extremamente monitorados para evitar desvios e assim perdas no processo.

Figura 04 – Fluxograma do processo de Injeção (Resumido)



Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 05 – Visualização do processo de Injeção



Fonte: Autoria Própria (2023)

3 MÉTODO DE PESQUISA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa pode ser caracterizada quanto à natureza, aos métodos (ou abordagens metodológicas), quanto aos objetivos e quanto aos procedimentos. Quanto à natureza, este trabalho se caracteriza como uma pesquisa aplicada, e tem como objetivo a geração de conhecimento para solução de problemas específicos (Nascimento, 2016). Nesse sentido, o estudo promovido com o intuito de utilizar uma metodologia existente, o Lean Seis Sigma, com o objetivo de encontrar soluções para o percentual de reprovação de solas por problemas de encolhimento em uma empresa calçadista.

Quanto a metodologia é classificada como quantitativa-qualitativa. Quantitativa, pois emprega medidas tanto padronizadas quanto sistemáticas, reunindo respostas pré-determinadas, e desta forma, facilitando a comparação e a análise de medidas estatísticas de dados. E qualitativa pois baseia-se na interpretação dos fenômenos que foram observados, considerando as particularidades de cada sujeito objeto da pesquisa (Nascimento, 2016). Além disso, há realização de coleta de evidências de forma que seja possível mensurar as variáveis da pesquisa.

Quanto aos objetivos, a pesquisa apresenta caráter exploratório, pois objetiva facilitar familiaridade do pesquisador com o problema objeto da pesquisa, a partir da busca por respostas pela constante investigação (Gil, 1991). Ou seja, procura um melhor entendimento do problema, teoria e das ferramentas aplicadas para o alcance de possíveis soluções.

Quanto aos procedimentos de pesquisa utilizado, o trabalho trata-se de uma pesquisa experimental, visto que testa as hipóteses que dizem respeito à convicção do pesquisador.

O modelo que será detalhado a seguir, DMAIC, mostrará o percurso a ser seguido após a escolha de um projeto.

3.2 ETAPAS DE EXECUÇÃO USANDO O MÉTODO DMAIC

Um dos elementos da infraestrutura do Lean Seis Sigma é a constituição de equipes para executar projetos que contribuam fortemente para o alcance das metas estratégicas da empresa. O desenvolvimento desses projetos é realizado com base em um método denominado DMAIC (Werkema, 2012).

Nos projetos que utilizam o DMAIC as ferramentas mais utilizadas são o planejamento e estratégia de coleta de dados, plano de monitoramento e controle, plano de implementação, *brainstorming* e análise de causa raiz (diagrama de Ishikawa). Além de ferramentas gráficas como análise de Pareto, gráfico de controle, e FMEA (Antony et al., 2018). De acordo com Werkema (2012) o DMAIC é constituído por 5 etapas:

D – *Define* (Definir): Definir o escopo do projeto. Respondendo as seguintes questões:

- Qual é o problema – resultado não desejável ou oportunidade identificada a ser abordado no projeto?
- Qual é a meta a ser atingida?
- Quais são os clientes/consumidores afetados pelo problema?
- Qual é o processo relacionado ao problema?

M – *Measure* (Medir): Determinar onde o problema ocorre. Nesta etapa do DMAIC o problema deverá ser refinado. Respondendo as questões:

- Quais resultados devem ser mensurados para se obter dados úteis no monitoramento do problema?
- Quais são os pontos prioritários do problema? (Esses pontos são indicados pela análise dos dados gerados a partir das medições e seus resultados que estão associados ao problema)

A – *Analyze* (Analisar): Determinar as causas de cada problema que foi priorizado. Nesta etapa do DMAIC, em que já houve o levantamento dos dados na fase de medição, ocorre a identificação das causas raízes do problema e os impactos dessas causas sobre o processo.

I – *Improve* (Melhorar): Propor, avaliar e implementar soluções para cada problema priorizado. Nesta etapa do DMAIC, a princípio, devem ser fomentadas ideias sobre possíveis soluções para a resolução das causas raízes do problema detectadas na fase anterior.

C – *Control* (Controlar): Garantir que o alcance da meta seja mantido a longo prazo. Essa fase consiste em avaliar o alcance da meta a longo prazo, realizando monitoramento para a confirmação do alcance dos resultados.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

O estudo do caso foi desenvolvido em umas das unidades de uma indústria de sandálias e calçados. No decorrer dos anos, a empresa confeccionou os mais variados modelos de calçados competindo com grandes indústrias do mesmo ramo como Beira-Rio e a Vulcabras.

Um dos modelos que caiu no gosto dos brasileiros e do mercado externo foram os modelos de calçados fechados que favorecem uma composição de um look versátil, além de ofertar muita maciez e conforto no calce visto ser um produto fabricado com borracha. O processo de fabricação deste calçado é bastante longo, em que primeiro são fabricados os componentes separadamente, como a sola e o cabedal (tecido que cobre o pé) para em seguida haver a junção e montagem dos mesmos, transformando-o em produto acabado. A empresa se vê como especialista em gerir marcas desejáveis e hiperconectadas, que levam conforto e estilo para seus consumidores.

Na medida em que ocorria o crescimento da empresa, viu-se a necessidade de encontrar uma forma de garantir a qualidade de seus produtos e processos, para que pudessem ser fornecidas soluções competitivas para o mercado. Uma dessas formas foi a disponibilização do treinamento de Belt's para análise e resolução de variados níveis de problemas que envolve as etapas do processo produtivo, principalmente os crônicos, que estão sempre em evidência ou que se repetem a curtos espaços de tempo.

A empresa possui como estratégias de competitividade, a produção de produtos democráticos e icônicos e estimula sua equipe afim de aprimorar a capacidade de entregar experiências excepcionais aos clientes e consumidores e possui como principal desenvolvimento de competências a captura de tendências emergentes, inovando conforme a necessidade de seu público.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, os resultados são apresentados utilizando a sequência definida pelo modelo DMAIC:

4.1 DEFINIR

Nesta fase do projeto foi definida a meta, a equipe, o cronograma, os riscos e os benefícios esperados do projeto.

O projeto Green Belt foi desenvolvido para reduzir o percentual de ocorrências de dimensional da sola menor que o especificado do produto acabado para um artigo específico. Com uma perspectiva de melhoria de 80% para 30% das reprovações sinalizadas através de auditorias de produto. O projeto teve como alvo os principais benefícios:

- Reduzir reclamação de consumidores do mercado interno e externo para motivos de tamanho menor;
- Reduzir não conformidades por “Tamanho de sola menor “nas inspeções de tamanho” Auditoria de produto;

- Melhorar o impacto qualitativo na marca quanto assertividade do tamanho/numeração dos calçados.

4.1.1 Mapeamento do processo relevante

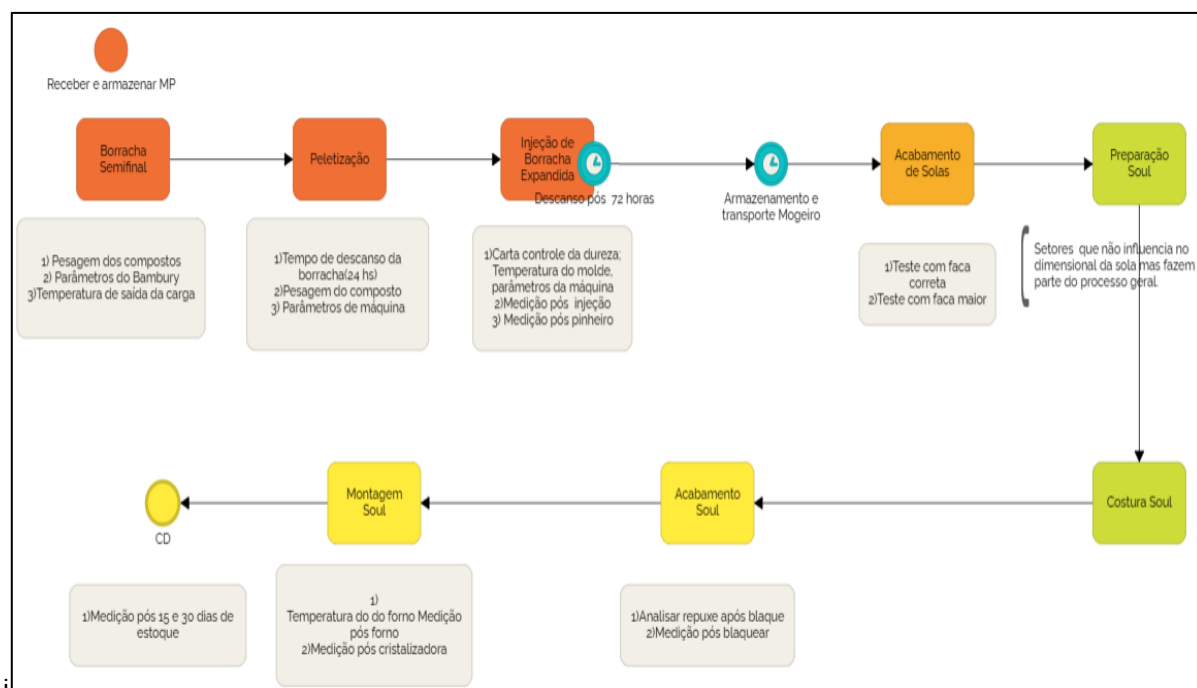
Para compreender melhor o fluxo de produção do calçado, foi realizado o mapeamento das operações (Figura 06) bem como o desenho do fluxograma que mostra as etapas do processo (Figura 07).

Figura 06 – Operações do processo de Fabricação do calçado



Fonte: Autoria Própria (2023)

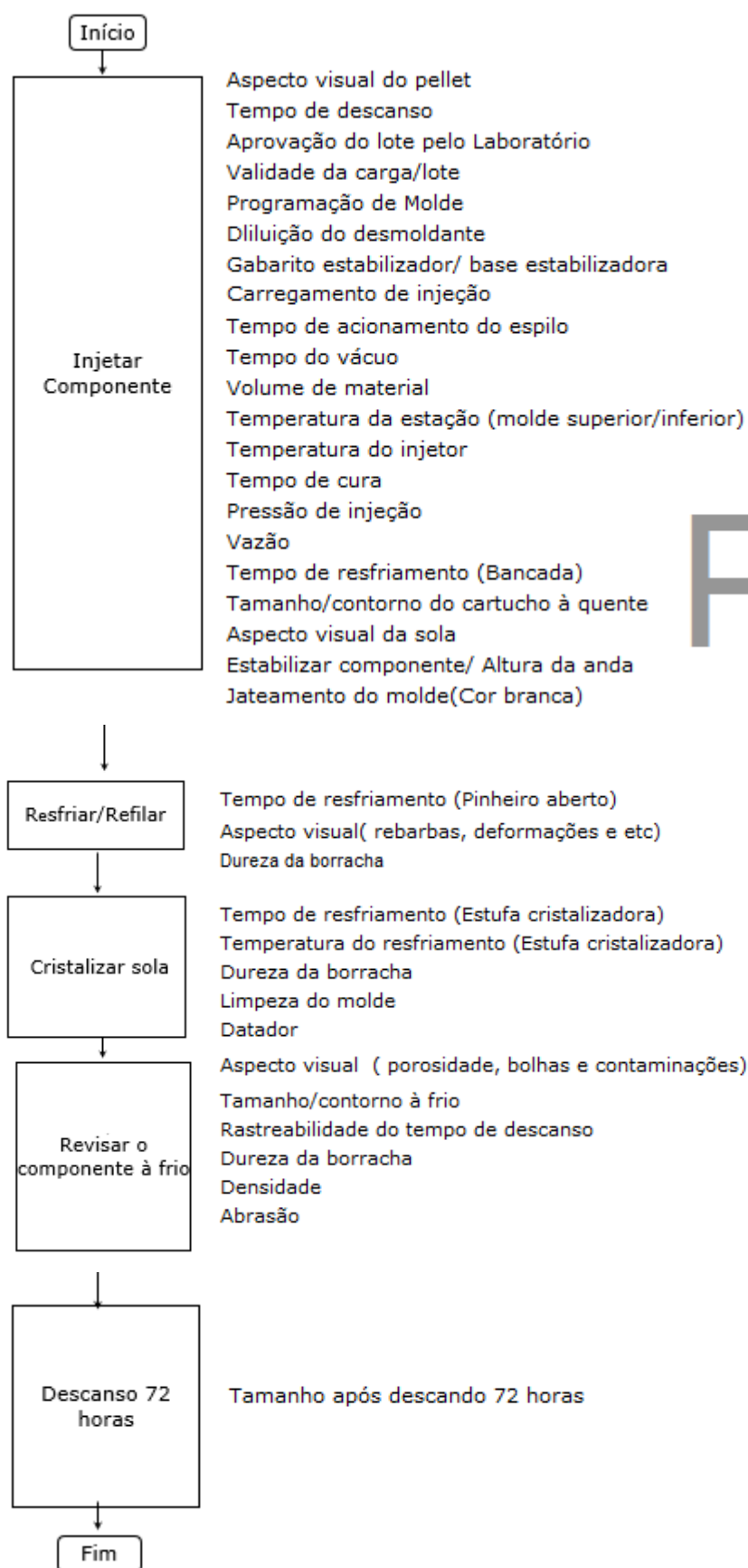
Figura 07 – Fluxograma do processo de Fabricação do calçado



Fonte: Autoria Própria (2023)

Dentre todo o fluxo de produção, o setor de injeção de borracha é o processo chave para fabricação do calçado, visto que injeta o componente sola, objeto desse estudo. Diante disso, foi realizado o levantamento de todas as etapas desse processo, bem como os seus pontos críticos nas etapas de sua operação conforme Figura 08.

Figura 08 – Itens do processo de Injeção de sola



Fonte: Autoria Própria (2023)

Buscando definir as fases do processo de forma clara e assertiva, foi utilizada a ferramenta SIPOC (Quadro 01) que permite visualizar os principais processos envolvidos na fabricação do produto, identificando fornecedores, entradas, saídas e clientes.

Quadro 01 - SIPOC

Suppliers	Inputs	Process	Outputs	Customers
• Laboratório	• Formulação	▪ Misturar compostos	▪ Borracha BBI 5409	▪ Peletizadora
• Engenharia	▪ Balança			
	▪ Banbury			
	▪ Kneader			
▪ Semi final	• Manta da Semifinal	▪ Peletizar	▪ Pellets	▪ Injeção de Borracha Expandida
▪ Peletizadora	• Balança			
	• Formulação			
	• Resíduo			
	• Peletizadora			
• Injeção de Borracha Expandida	▪ Injetora 07	▪ Injetar solas	▪ Cartuchos	▪ Acabamento de Solas
	▪ Gabarito de medição quente			
	▪ Pinheiro			
	▪ Gabarito de medição frio			
• Acabamento de sola	▪ Cartuchos	▪ Recortar Cartuchos	▪ Solas	▪ Acabamento Soul Collection
	▪ Máquinas de corte			
	▪ Durômetro			
	▪ Gabarito de Medição pós corte			
▪ Acabamento Soul Collection	▪ Gabarito de Riscagem	▪ Blaquear calçado	▪ Pré montado	▪ Montagem Soul Collection
	▪ Máquina de blaquear			
▪ Montagem Soul Collection	▪ Pré montado	▪ Conformar Calçado	▪ Calçado acabado	▪ Qualidade/CD
	▪ Forma			
	▪ Forno			
	▪ Cristalizadora			
	▪ Gabarito de medição final			

Fonte: Autoria Própria (2023)

Com essa ferramenta foi possível identificar os elementos principais que envolve a fabricação do produto, facilitando uma visão mais ampla das Inter relações do processo e auxiliando também no levantamento das possíveis causas do problema.

4.1.2 Identificar potenciais características críticas da qualidade

A princípio foi utilizada a ferramenta *Voice of customer* (Quadro 02) para levantar as expectativas dos clientes do projeto com relação a qualidade do produto, identificando os pontos de melhoria de forma mais precisa e eficiente.

Nesse projeto, os clientes são internos, ou seja, são da própria empresa, no entanto as melhorias terão impactos em consumidores da marca. As necessidades de melhoria foram levantadas a partir de uma reunião colaborativa entre os próprios clientes e o líder do projeto e periodicamente foram realizados outros encontros, normalmente semanais para alinhamentos, ajustes, atualização do plano de ação e acompanhamento de sua evolução.

Quadro 02 – Críticos para qualidade

Customer	Collection Method	Key Customer Issues (Principais problemas do cliente)	Critical Customer Requirement (CTQ) Cliente crítico Requisito (CTQ)
Gerente de Planta	Entrevista	Diminuir reposição de solas por tamanho menor (Retrabalho)	Solas encolher dentro do especificado
Setor de qualidade Fábrica	Entrevista	Controlar a dureza da sola no processo	Dureza e tamanho da sola dentro do especificado
Produção	Entrevista	Retrabalho/Reposição de Solas/Reajuste de Parâmetros	Baixa interferência no fluxo e volume de produção
Operação	Entrevista	Reajustes de Parâmetros durante o fluxo produtivo	Melhor ajuste na especificação dos parâmetros
Produção	Entrevista	CD com alto índice de reprovação por tamanho menor	CD com Stori Audit aprovado

Fonte: Autoria Própria (2023)

4.1.3 Definição do Project Charter

Para a realização deste projeto, uma equipe foi montada e teve como integrante além do líder do projeto, um representante de cada área, sendo eles: analista de laboratório, supervisor de produção, líder do processo de injeção, analista de manutenção, analista de engenharia industrial e especialista de laboratório como podemos ver no escopo preliminar do projeto - *Project Charter* (Figura 09) que organiza de forma objetivas as principais informações do projeto, dentre elas a justificativa, riscos e benefícios.

Figura 09 – Project Charter



Fonte: Autoria Própria (2023)

4.2 MEDIR

4.2.1 Procedimento operacional padrão de medição

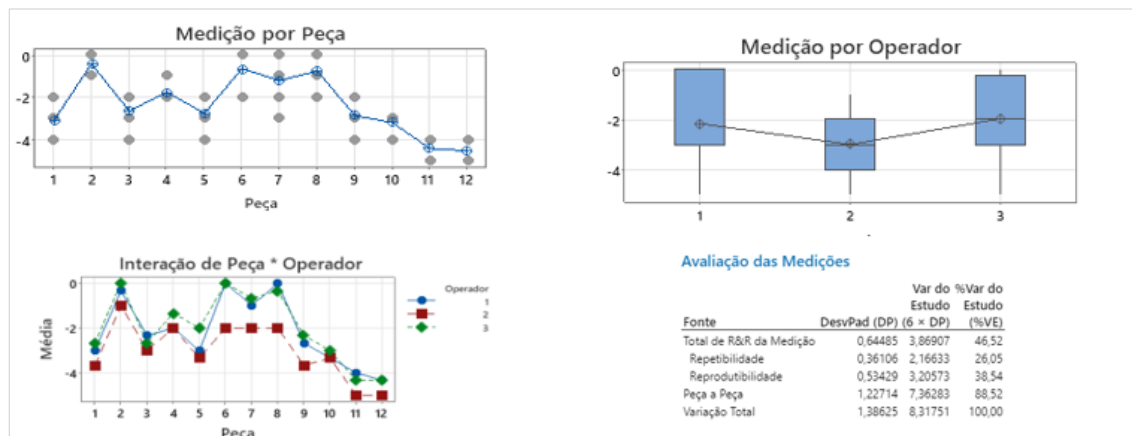
Durante as auditorias de produto, os inspetores de qualidade realizavam as medições das solas dos calçados, transcrevendo para uma planilha a informação das medições em mm. Nesta planilha era possível obter as quantidades de calçados inspecionados, bem como calcular quantos desses calçados estavam atendendo as especificações de dimensional.

Para garantir que os dados coletados possuísem uma maior assertividade, foi utilizada a ferramenta MSA (Figura 10), a fim de avaliar o sistema de medição utilizado nas auditorias de produto.

Pela análise de MSA, mostra-se que há falhas no método e instrumento de medição tanto por repetibilidade (quando a variação nas medidas obtidas com um instrumento de medição, quando usado várias vezes por um mesmo avaliador, medindo a mesma característica na mesma peça), quanto por reprodutibilidade (quando a variação na média das medidas feitas por diferentes avaliadores utilizando o mesmo instrumento de medição medindo mesma característica nas mesmas peças),

evidenciando uma certa instabilidade entre mão de obra e peças com percentual de R&R >30%.

Figura 10 – MSA diagnóstico



Fonte: Autoria Própria (2023)

As causas possíveis da falta de estabilidade identificadas foram:

- Falta de padronização do método de medição;
- Falta de treinamento da mão de obra;
- Projeto de instrumento de medição não robusto.

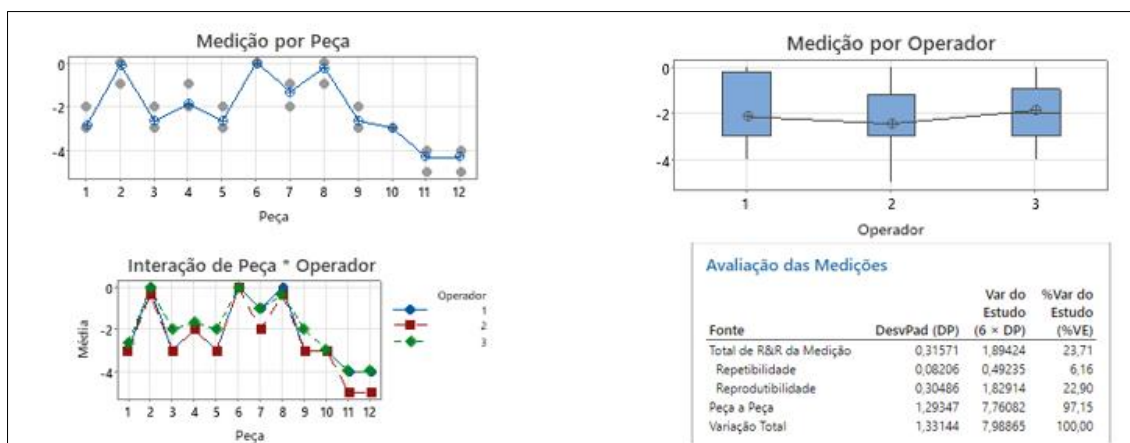
Sendo assim, foram realizados os devidos ajustes no método de medição e o treinamento dos operadores com o padrão definido (Figura 11).

Figura 11 – Método de medição antes e após treinamento.



Fonte: Autoria Própria (2023)

As ações realizadas resultaram em um valor de R&R de 23,71% (Figura 12), evidenciando uma melhora bastante significativa dos gaps de medição de repetibilidade e em reprodutibilidade um pouco menor, o que sugere que ainda há oportunidades de melhorias a serem implementadas futuramente, como por exemplo, aumentar a métrica das medições para que de forma geral o índice de R&R alcance um valor de variação de <10%.

Figura 12 – MSA após ajuste em método de medição

Fonte: Autoria Própria (2023)

4.2.2 Avaliação da Capabilidade Baseline

Nesta etapa, inicialmente foram levantados os números de não conformidades por tamanho menor que o especificado daquilo que se tinha dentro do CD (Centro de distribuição), de rastreabilidades mês variada. O levantamento dos dados foi realizado através das auditorias de produto, considerando uma amostragem do material disponível para comercialização. Identificou-se que, mais de 80% desse material estava fora da especificação (Tabela 02), neste caso, solas menor que o gabarito de inspeção de tamanho para o artigo e numeração avaliado, sendo a especificação de até - 2 mm em relação ao gabarito de medição.

Tabela 02 – Medições em (mm) x Quantidade

DIREITO													
Mês/mm	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	Total geral
mar/20				1	3								4
nov/20				1		2							3
dez/20				2	2	5	5	1					15
jan/21			1		8	6	3	4	1	2	2	1	28
fev/21				1	3	2	5	4	1	1	2		19
mar/21	2	1	1	3	2	11	6	17	6	2	1		52
abr/21					4	5	1	1	1				12
mai/21							1		1	3			5
ago/21				1	3	4	1	1	2				12
Total geral	2	1	2	9	25	35	22	28	12	8	5	1	150

ESQUERDO													
Mês/mm	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	13
mar/20				2	2								4
nov/20					3								3
dez/20				1	5	8	1						15
jan/21				5	7	8	2	1		2	3		28
fev/21			1		4	10	1		1	2			19
mar/21	1	1	2	4	5	5	12	9	6	6	1		52
abr/21					4	5		1		1	1		12
mai/21										3	1	1	4
ago/21					5	5	1	1					12
Total geral	1	1	3	12	35	41	17	12	7	14	6	0	149

3,33% até 2mm menor
96,67 acima de 2mm menor

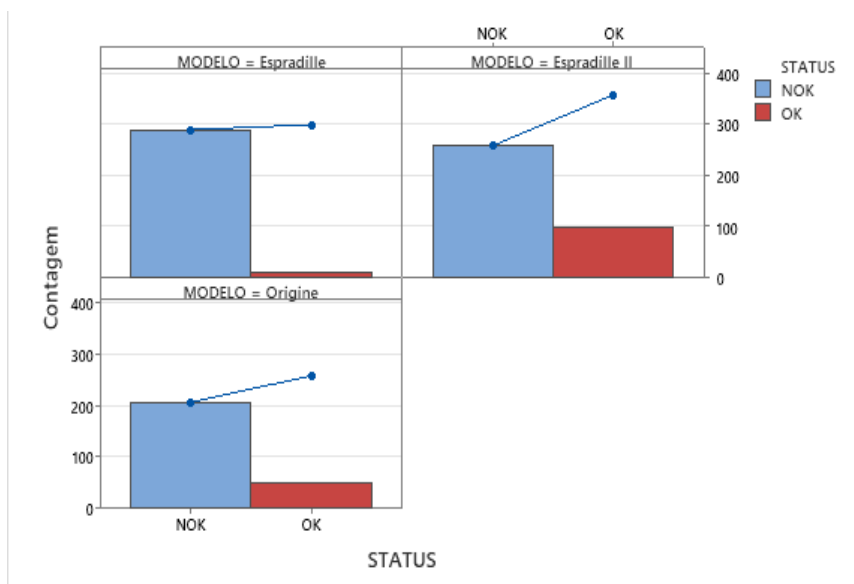
2,67% até 2mm menor
97,33 acima de 2mm menor

Fonte: Autoria Própria (2023)

O gráfico de Pareto (Figura 13) mostra que as medições realizadas evidenciam um encolhimento maior que o especificado de -2mm das solas nas versões dos

Shapes (Espadrille, Espadrille II e Origine IV), no entanto de forma um pouco mais acentuada no *Shape* Espadrille:

Figura 13 – Gráfico de Pareto



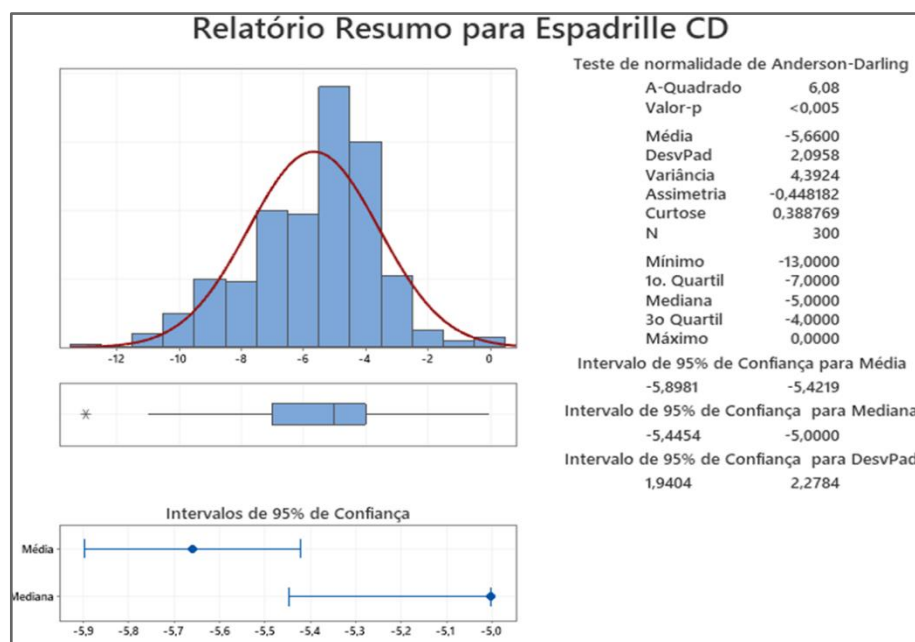
Fonte: Autoria Própria (2023)

A partir de um sumário gráfico (Figura 14) evidenciamos que dentro da amostra, a média encontrada foi de $-5,66(\text{mm})$, mostrando o quão distante negativamente do “zero”, que é o alvo a sola está. Nesta amostra foram encontradas solas com variações de tamanho que chegam até $-13(\text{mm})$ com relação ao alvo. Também é possível verificar que além da não normalidade dos dados, a média de encolhimento é bastante considerável, girando em torno do 5mm menor, fora do espectro para o Shape do calçado.

No caso analisado, valores menores que o limite inferiores (LIE), -2mm , são indesejáveis por não representar um percentual de retração da sola conforme o esperado em um produto que já é considerado “estabilizado”. Desta forma, o controle deve ser feito de modo que valores sejam cada vez mais próximos e dentro das especificações.

Os dados mais acentuados no modelo Espadrille, provavelmente se dão pelo fato de que para o período avaliado este shape teve um maior volume de produção, ocupando em maior proporção o estoque do CD, quando comparado aos demais artigos da linha.

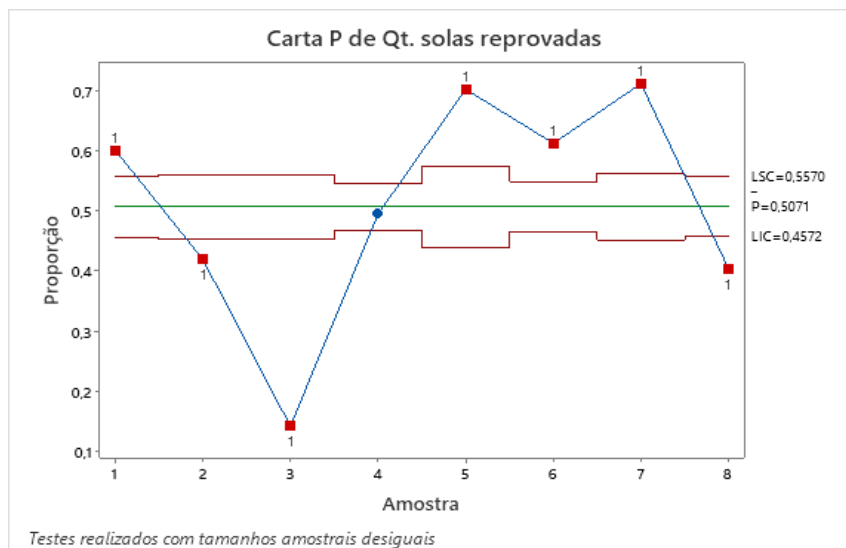
Figura 14 – Relatório Resumo de Calçados



Fonte: Autoria Própria (2023)

Na Figura 15, a carta controle antes do projeto mostra vários pontos de não conformidade com relação aos limites de especificação.

Figura 15 – Carta de controle antes do projeto



Fonte: Autoria Própria (2023)

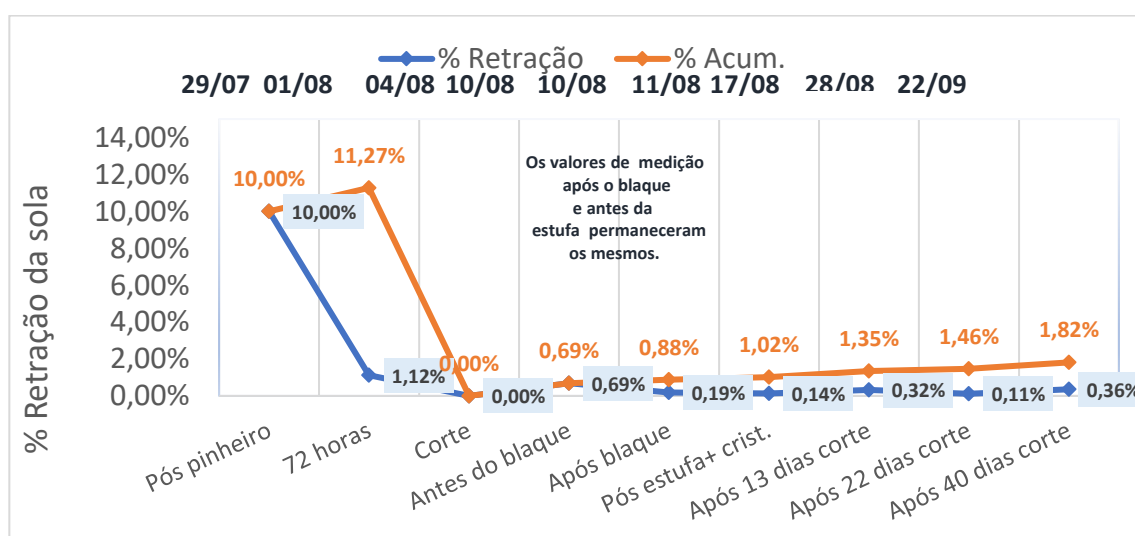
Para melhor compreensão cronológica do comportamento de retração do calçado, foi realizada uma produção assistida pelo setor de qualidade e equipe. Foi monitorado o fluxo desde o processo de pesagem do composto até a montagem do produto final, a fim de garantir a devida aplicação das especificações que constam nos planos de controle de cada processo existente na produção do calçado.

Neste acompanhamento não foi evidenciado que os processos de costura e montagem tem influência sobre o fator de encolhimento das solas dos calçados. Esse entendimento veio a partir da consideração que não há nesses processos fatores que modifiquem a estrutura molecular da sola a ponto de ocasionar uma retração significativa.

No entanto, os processos de injeção de sola, bem como os anteriores a ele, possuem parâmetros que podem interferir diretamente no comportamento do material, como por exemplo, tempos de ciclo, temperaturas e volume de matérias primas.

Por este motivo, o foco das análises foi direcionado com uma maior intensidade nos três processos iniciais da produção, sendo eles: Borracha semifinal, Peletização e Injeção de borracha expandida. Conforme gráfico (Figura 16) as solas retraíram entre o processo de injeção e após 72 horas cerca de 12% e continuaram retraindo após o processo de corte cerca de 0,4 %, mesmo após o 22º dia da produção. As medições foram finalizadas após 40 dias da data do corte da sola.

Figura 16 – Gráfico de evolução da retração da sola (%) x dias



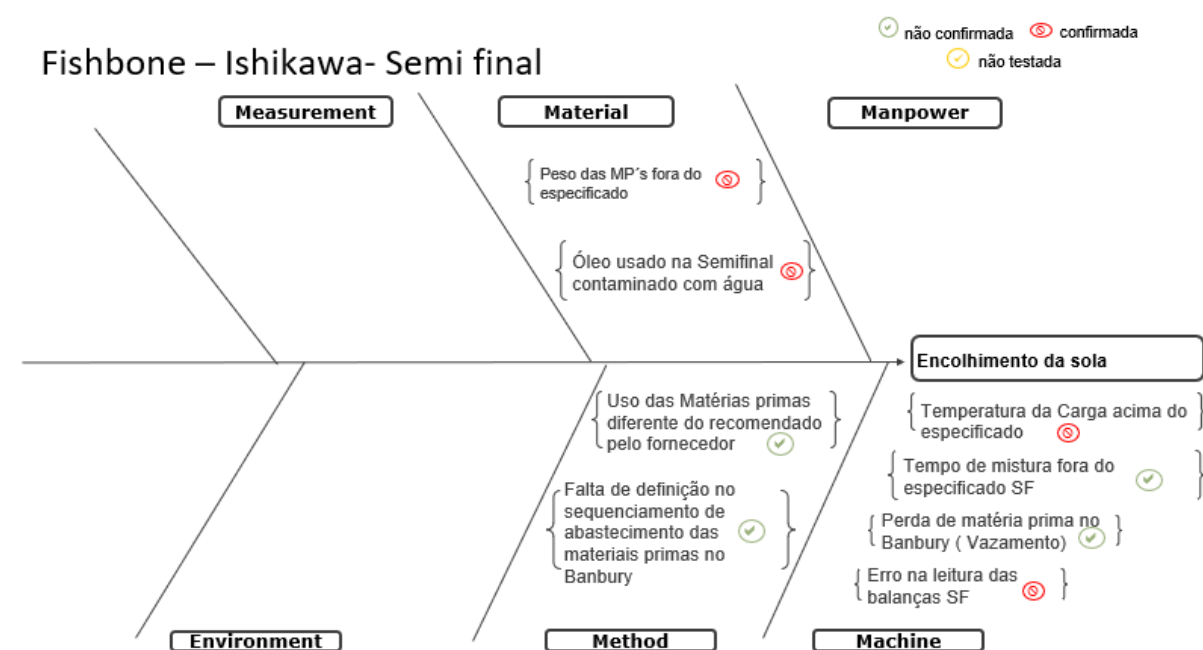
Fonte: Autoria Própria (2023)

4.3 ANALISAR

4.3.1 Identificação das potenciais causas

Um levantamento inicial das possíveis causas do problema de encolhimento foi realizado através de um *brainstorming* (Figuras 17, 18 e 19). Este, foi realizado por sessões, uma para cada processo analisado, que nesse caso, totalizam três processos com maior impacto na retração da sola, conforme já citado anteriormente. Em seguida, essas possíveis causas foram distribuídas nos 6 M's do diagrama de Ishikawa (*Machine, Method, Environment, Measurement, Material e Manpower*), e que podem ser classificadas como causas confirmadas, não confirmadas e não testadas.

Figura 17 – Ishikawa do processo de semifinal



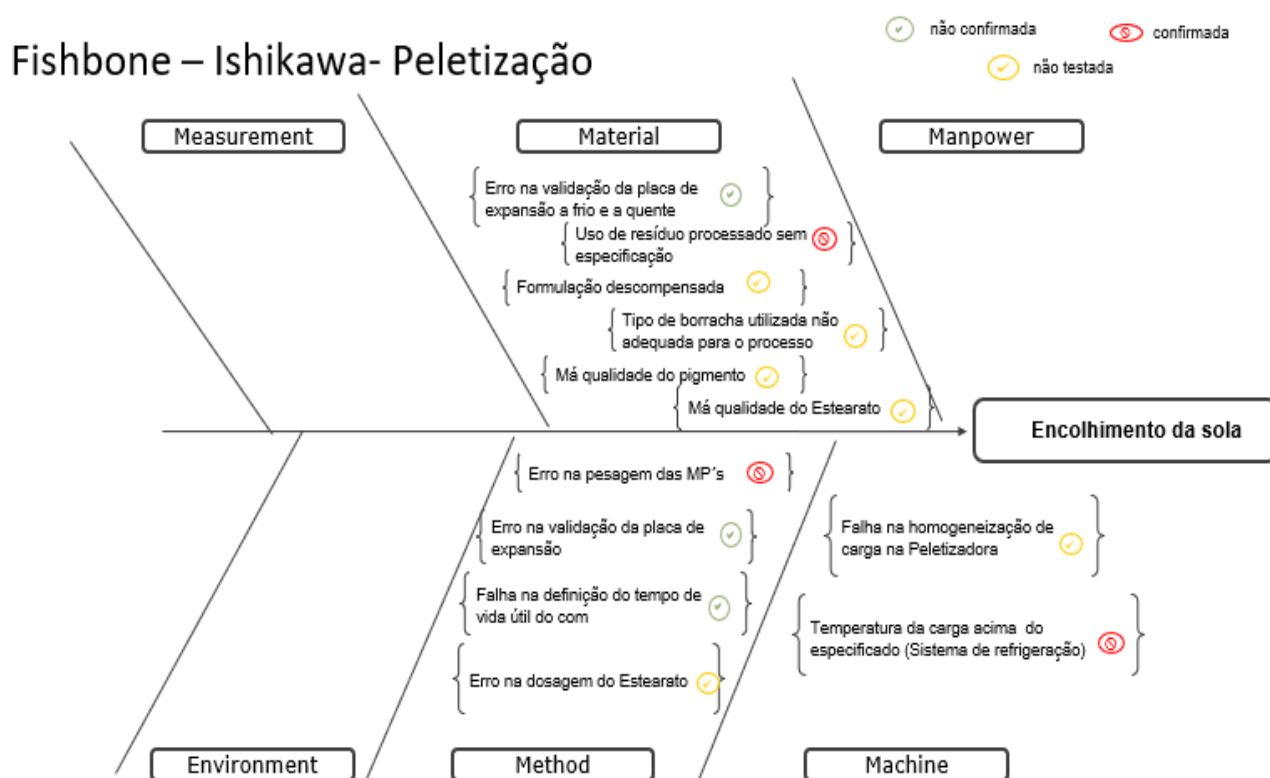
Fonte: Autoria Própria (2023)

No processo de semifinal foram identificadas como possíveis causas:

- Peso das matérias primas fora do especificado;
- Óleo da Semifinal contaminado com água;
- Uso da matéria prima diferente do recomendado pelo fornecedor;

- Falta de definição no sequenciamento das matérias primas no Banbury (Máquina de Mistura);
- Temperatura da carga acima do especificado;
- Tempo de mistura fora do especificado na SF;
- Perda de MP no Banbury;
- Erro na leitura das balanças.

Figura 18 – Ishikawa do processo de Peletização



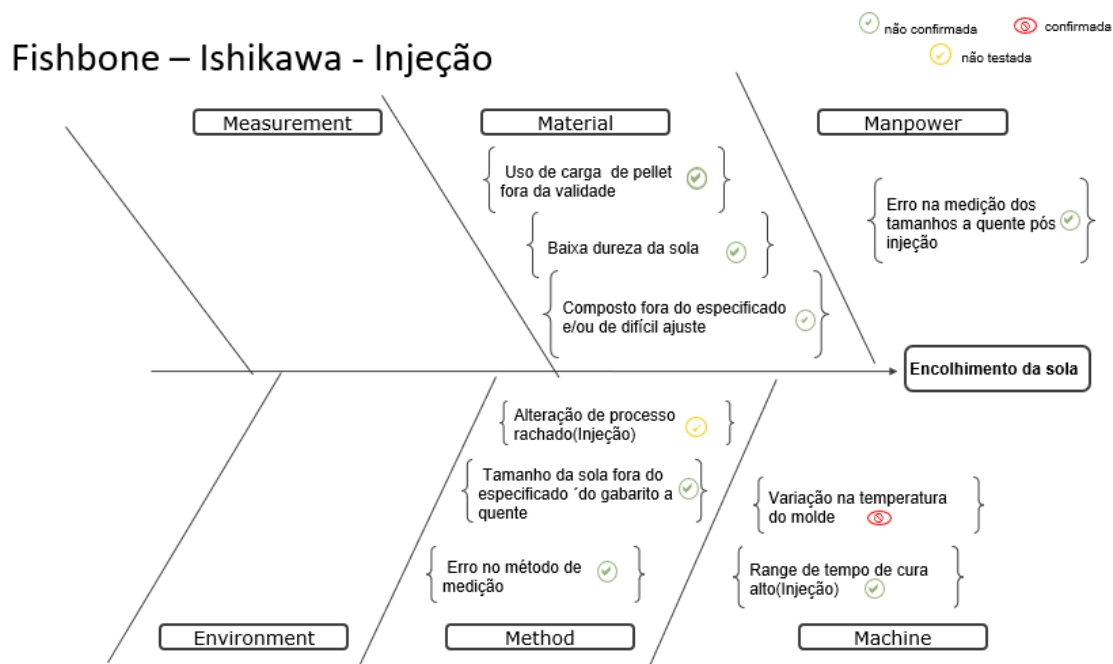
Fonte: Autoria Própria (2023)

Já processo de Peletização foram identificadas como possíveis causas:

- Erro na validação da placa da expansão quente e frio;
- Uso de resíduo processado sem especificação;
- Formulação descompensada;
- Tipo de borracha utilizada não adequada para o processo;
- Má qualidade do pigmento;
- Má qualidade do estearato;
- Erro na pesagem das MP's;

- Falha na definição do tempo de vida útil do composto;
- Falha na homogeneização da carga da Peletizadora;
- Temperatura da carga acima do especificado.

Figura 19– Ishikawa do processo de Injeção



Fonte: Autoria Própria (2023)

Já processo de Injeção foram identificadas como possíveis causas:

- Uso da carga de pellet fora da validade;
- Composto fora do especificado e/ou de difícil ajuste;
- Erro nas medições das solas na expansão quente e frio após injeção;
- Alteração do processo de rachar a sola;
- Tamanho da sola fora do especificado do gabarito pós injeção;
- Variação na temperatura dos moldes;
- Range do tempo de cura alto;
- Baixa dureza da sola.

4.3.2 Causas raízes

As oportunidades de melhorias no processo de mistura semifinal foram identificadas para a(s) causa(s):

- Peso das matérias primas fora do especificado;
- Óleo da Semifinal contaminado com água;
- Temperatura da carga acima do especificado; e
- Erro na leitura das balanças

No processo de peletização foram identificadas a(s) causa(s):

- Uso de resíduo processado sem especificação;
- Erro na pesagem das Matérias primas; e
- Temperatura da carga acima do especificado

Já as oportunidades de melhorias no processo de Injeção foram identificadas para a(s) causa(s):

- Variação na temperatura dos moldes

4.3.3 Análise gráfica dos acompanhamentos

Para entender melhor o problema de encolhimento foi necessário verificar o quanto o tamanho da sola após a injeção e após resfriamento no pinheiro tem correlação com a retração da sola.

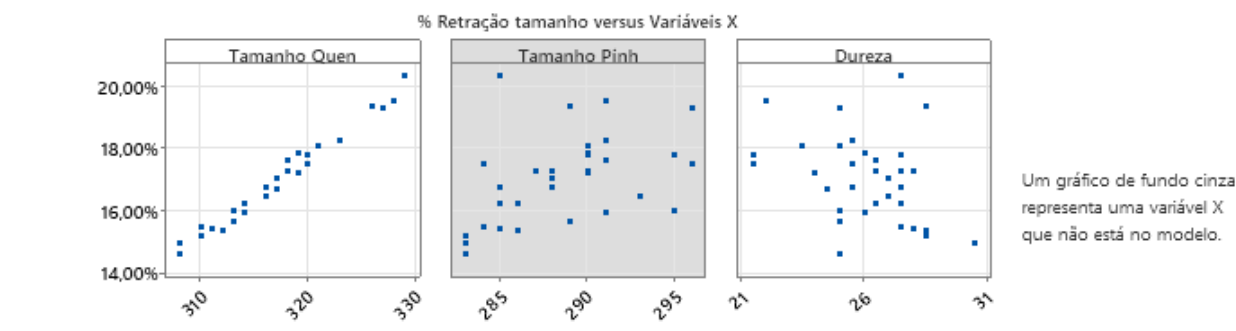
De acordo com os especialistas da fábrica, a retração da sola pode ser considerada estável após o 15º dia contando a partir da data da injeção. Para essa etapa foi utilizada a análise de regressão como recurso da ferramenta do minitab, utilizando como variáveis de entradas, o tamanho à quente, o tamanho após pinheiro, e a dureza da sola, visto que também foi apontada pelos especialistas de processo como uma possível causa do encolhimento. Então, temos:

- x1:Tamanho(quente) da sola após injeção;
- x2: Tamanho após resfriamento no pinheiro;
- x3: Dureza da sola após resfriamento(pinheiro)

E a variável de saída:

- y1: % retração da sola

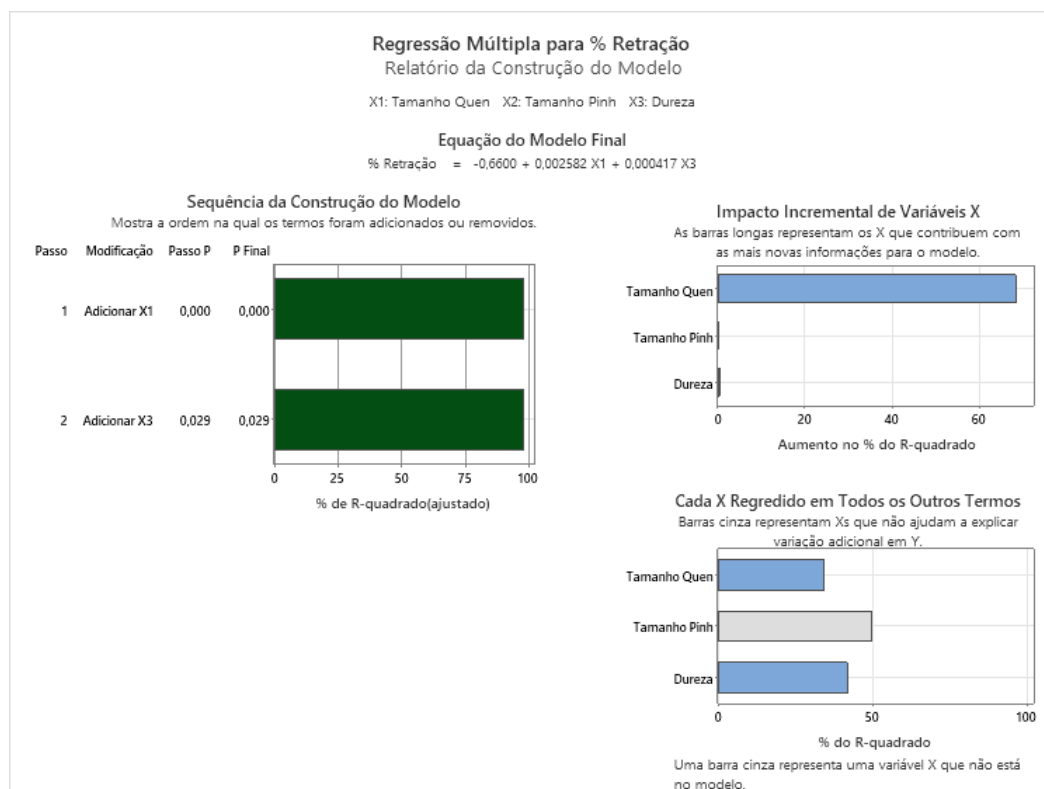
Figura 20 – Análise de Regressão: Medição quente + Medição Pinheiro + Dureza **versus** % retração



Fonte: Autoria Própria (2023)

A Figura 21 apresenta graficamente a análise de regressão. Que por sua vez mostram uma relação dependente numa maior proporção de tamanho quente (dimensional da sola logo após retirada do molde) e numa menor proporção à dureza da sola, apresentando um valor de R² que aproxima mais de 100%. O tamanho da sola pós pinheiro é pouco representativo. Observa-se, então, que quanto maior a sola for retirada no tamanho a quente, maior será o seu percentual de retração total.

Figura 21 – Regressão múltipla



Fonte: Autoria Própria (2023)

No intuito de prosseguir com aprofundamento das análises, foi realizado o estudo de *Design of Experiments* (DOE), considerando como elementos de análise os fatores, temperatura do molde, tempo de cura, pressão e o lado da cavidade da sola; e como elementos de controle o % de retração da sola entre o processo de injeção e tamanho após 72 horas.

Foram realizadas 16 combinações entre os parâmetros (Tabela 03), explorando a especificação mínima e máxima para os dados números de cada um deles e o lado esquerdo e direito da cavidade da sola. O experimento foi executado, coletando 3 réplicas para cada uma das 16 combinações, totalizando 48 amostras (Tabela 04). Para cada fator, foram adotados os seguintes níveis:

- Temperatura: 160 °C e 170 °C
- Tempo de cura: 380s e 420s
- Pressão: 85 bar e 120 bar
- Lado: Esquerdo(E) e Direito(D)

Tabela 03 – Combinações dos parâmetros

Combinação	Temperatura	Tempo	Pressão	Lado
1	170 °C	420 s	85 bar	Esquerdo
2	170 °C	420 s	120 bar	Esquerdo
3	170 °C	380 s	120 bar	Esquerdo
4	170 °C	380 s	85 bar	Esquerdo
5	160 °C	380 s	85 bar	Esquerdo
6	160 °C	380 s	120 bar	Esquerdo
7	160 °C	420 s	120 bar	Esquerdo
8	160 °C	420 s	85 bar	Esquerdo
9	170 °C	420 s	85 bar	Direito
10	170 °C	420 s	120 bar	Direito
11	170 °C	380 s	120 bar	Direito
12	170 °C	380 s	85 bar	Direito
13	160 °C	380 s	85 bar	Direito
14	160 °C	380 s	120 bar	Direito
15	160 °C	420 s	120 bar	Direito
16	160 °C	420 s	85 bar	Direito

Fonte: Autoria Própria (2023)

Tabela 04 – Coleta de dados DOE

Amostra	Temperatura	Tempo	Pressão	Tamanho Quente	Tamanho após resfriamento	% de Retração
1e	170	420	85	334	328	1,80
1d	170	420	85	330	322	2,42
2e	170	420	85	335	328	2,09
2d	170	420	85	332	325	2,11
3e	170	420	85	335	330	1,49
3d	170	420	85	331	325	1,81
5e	170	420	120	330	325	1,52
5d	170	420	120	325	320	1,54
6e	170	420	120	333	327	1,80
6d	170	420	120	330	323	2,12
7e	170	420	120	330	324	1,82
7d	170	420	120	325	320	1,54
8e	170	380	120	340	334	1,76
8d	170	380	120	337	331	1,78
9e	170	380	120	337	331	1,78
9d	170	380	120	335	328	2,09
10e	170	380	120	340	334	1,76
10d	170	380	120	335	328	2,09
11e	170	380	85	341	334	2,05
11d	170	380	85	338	333	1,48

12e	170	380	85	341	335	1,76
12d	170	380	85	338	331	2,07
13e	170	380	85	340	334	1,76
13d	170	380	85	337	331	1,78
14e	160	380	85	338	334	1,18
14d	160	380	85	340	335	1,47
15e	160	380	85	343	339	1,17
15d	160	380	85	343	339	1,17
16e	160	380	85	341	338	0,88
16d	160	380	85	346	342	1,16
17e	160	380	120	332	327	1,51
17d	160	380	120	337	332	1,48
18e	160	380	120	326	323	0,92
18d	160	380	120	333	331	0,60
19e	160	380	120	333	330	0,90
19d	160	380	120	337	333	1,19
20e	160	420	120	342	338	1,17
20d	160	420	120	347	342	1,44
21e	160	420	120	343	338	1,46
21d	160	420	120	344	340	1,16
22e	160	420	120	342	337	1,46
22d	160	420	120	344	338	1,74
23e	160	420	85	350	347	0,86
23d	160	420	85	353	347	1,70
24e	160	420	85	355	351	1,13
24d	160	420	85	352	347	1,42
25e	160	420	85	352	347	1,42
25d	160	420	85	352	346	1,70

Fonte: Autoria Própria (2023)

A Figura 22 apresenta graficamente em Pareto o efeito das variáveis independentes, tempo, temperatura, pressão e lado sobre o percentual de retração da sola, utilizando o método de fatorial completo, visto que ele nos permitiu avaliar mais de um fator ao mesmo tempo.

Figura 22 – Pareto (Modelo completo)

Fonte: Autoria Própria (2023)

Nota-se que a retração da sola sofre uma maior e significativa influência com a alteração dos níveis de temperatura e logo em seguida pela mudança entre os lados da sola, esquerdo e direito. Nesse mesmo contexto, ainda é possível perceber que algumas interações são poucos significativas, como por exemplo a interação entre o tempo, a temperatura e o lado representados pela sigla (ABD). Isto fica mais nítido quando observamos os dados da Figura 23, que mostra algumas interações com o valor de P-value maior que 0,05, indicando que há uma combinação estaticamente pouco significativa entre alguns fatores.

A tabela sumária do modelo, determina se o modelo ajusta bem os dados. A coluna “S” indica o desvio padrão entre os dados e os valores ajustados do modelo, quanto menor, melhor o modelo descreve o resultado resposta. Já quanto maior o R², melhor o modelo se ajusta aos dados.

O R² ajustado deve ser usado quando as amostras possuem tamanhos distintos. O R² predito estima a equação de regressão e determina se o modelo consegue ter uma boa predição para as novas respostas após as observações removidas. Nesse caso, modelo explica 71,07% dos dados de retração da sola para R², no entanto os valores obtidos tanto no R²(aj) com valor de 57,51%, quanto no R²(pred) com valor de 34,91%, indicam que o modelo ainda pode ser ajustado para se obter um melhor resultado.

Figura 23 – Análise de variância (Modelo completo)

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	15	5,26813	0,35121	5,24	0,000
Linear	4	4,53623	1,13406	16,92	0,000
Tempo	1	0,17833	0,17833	2,66	0,113
Temperatura	1	4,05266	4,05266	60,47	0,000
Pressão	1	0,03228	0,03228	0,48	0,493
Lado	1	0,27297	0,27297	4,07	0,052
Interações de 2 fatores	6	0,39454	0,06576	0,98	0,454
Tempo*Temperatura	1	0,20877	0,20877	3,12	0,087
Tempo*Pressão	1	0,02615	0,02615	0,39	0,537
Tempo*Lado	1	0,06734	0,06734	1,00	0,324
Temperatura*Pressão	1	0,01378	0,01378	0,21	0,653
Temperatura*Lado	1	0,01182	0,01182	0,18	0,677
Pressão*Lado	1	0,06668	0,06668	0,99	0,326
Interações de 3 fatores	4	0,30441	0,07610	1,14	0,357
Tempo*Temperatura*Pressão	1	0,11842	0,11842	1,77	0,193
Tempo*Temperatura*Lado	1	0,00619	0,00619	0,09	0,763
Tempo*Pressão*Lado	1	0,11429	0,11429	1,71	0,201
Temperatura*Pressão*Lado	1	0,06551	0,06551	0,98	0,330
Interações de 4 fatores	1	0,03294	0,03294	0,49	0,488
Tempo*Temperatura*Pressão*Lado	1	0,03294	0,03294	0,49	0,488
Erro	32	2,14457	0,06702		
Total	47	7,41271			

Fonte: Autoria Própria (2023)

Diante do resultado, foi proposta a utilização do método Stepwise- Backward por ser um método que começa com o modelo completo, mas que elimina regressivamente uma a uma as variáveis menos significativas, iniciando com aquelas que possuem o maior p-value, tornando-se um modelo reduzido. Na figura 24, é possível observar que foram necessários 4 passos para concluir a remoção das variáveis menos significativas.

Figura 24 – Método Bacward (Modelo reduzido)

Termos candidatos: Tempo; Temperatura; Pressão; Lado; Tempo*Temperatura; Tempo*Pressão;
 Tempo*Lado; Temperatura*Pressão; Temperatura*Lado; Pressão*Lado; Tempo*Temperatura*Pressão;
 Tempo*Temperatura*Lado; Tempo*Pressão*Lado; Temperatura*Pressão*Lado;
 Tempo*Temperatura*Pressão*Lado

	-----Passo 1-----		-----Passo 2-----		-----Passo 3-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constante	1,5432		1,5435		1,5436	
Tempo	0,0458	0,165	0,0461	0,156	0,0462	0,148
Temperatura	0,2754	0,000	0,2757	0,000	0,2758	0,000
Pressão	-0,0351	0,285	-0,0348	0,281	-0,0347	0,274
Lado	0,0909	0,009	0,0918	0,007	0,0917	0,006
Tempo*Temperatura	-0,0753	0,026	-0,0750	0,025	-0,0749	0,022
Tempo*Pressão	-0,0383	0,244	-0,0380	0,240	-0,0379	0,233
Tempo*Lado	-0,0025	0,939	-0,0028	0,931	-0,0025	0,936
Temperatura*Pressão	-0,0319	0,330	-0,0316	0,327	-0,0315	0,320
Temperatura*Lado	-0,0556	0,095	-0,0559	0,088	-0,0557	0,083
Pressão*Lado	-0,0216	0,507	-0,0207	0,517	-0,0208	0,508
Tempo*Temperatura*Pressão	-0,0588	0,078	-0,0585	0,075	-0,0584	0,070
Tempo*Temperatura*Lado	0,0041	0,899	0,0050	0,875	0,0050	0,874
Tempo*Pressão*Lado	-0,0886	0,010	-0,0889	0,009	-0,0886	0,008
Temperatura*Pressão*Lado	-0,0028	0,931	-0,0031	0,922		
Tempo*Temperatura*Pressão*Lado	-0,0105	0,746				
S		0,213293		0,210095		0,206712
R2		78,62%		78,54%		78,53%
R2(aj)		67,55%		68,52%		69,53%
R2(pred)		50,63%		53,42%		56,14%
Cp de Mallows		16,00		14,11		12,12
AICc		25,54		20,47		15,61
BIC		33,59		29,95		26,16
	-----Passo 4-----					
	Coef	P				
Constante	1,5435					
Tempo	0,0461	0,143				
Temperatura	0,2757	0,000				
Pressão	-0,0348	0,265				
Lado	0,0913	0,005				
Tempo*Temperatura	-0,0750	0,020				
Tempo*Pressão	-0,0380	0,224				
Tempo*Lado	-0,0024	0,938				
Temperatura*Pressão	-0,0316	0,310				
Temperatura*Lado	-0,0555	0,079				
Pressão*Lado	-0,0212	0,493				
Tempo*Temperatura*Pressão	-0,0586	0,065				
Tempo*Temperatura*Lado						
Tempo*Pressão*Lado	-0,0885	0,007				
Temperatura*Pressão*Lado						
Tempo*Temperatura*Pressão*Lado						
S		0,203539				
R2		78,51%				
R2(aj)		70,45%				
R2(pred)		58,70%				
Cp de Mallows		10,14				
AICc		11,09				
BIC		22,39				

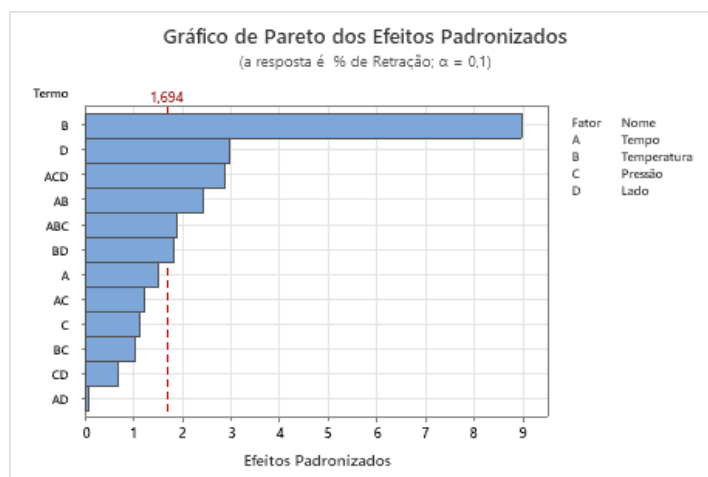
α para remover = 0,1

Fonte: Autoria Própria (2023)

Com os ajustes realizados no modelo, foi possível observar um melhor resultado no sumário com valores de R2 em 78,51%, R2(aj) em 70,45% e R2(pred) em 58,70%. Ao analisar separadamente os fatores, nota-se no gráfico de Pareto (Figura 25), que 6 dos 12 termos ultrapassam a linha de referência F_{α} (1,694), porém os valores de F para o termo “temperatura” continua sendo bem maior que os demais.

Desta forma, pode-se concluir que estatisticamente, a interação desse fator tem impacto bastante significativo no comportamento da variável resposta.

Figura 25 – Pareto (Modelo reduzido)



Para validar o modelo foram analisados se o mesmo atende aos seguintes requisitos:

1. O valor de P do modelo é $< 0,05$;
2. O valor de Falta de ajuste é $> 0,05$;
3. O valor de $R^2(aj)$ é $> 70\%$
4. O valor de VIF é próximo de 1;
5. Não apresentar observações influentes(atípica);
6. O valor do teste de normalidade de resíduo é $> 0,05$;

Nas Figuras 26, 27 e 28 é possível identificar que os itens 1, 2, 4 e 6 atendem aos requisitos de validação do modelo. Foi visto que, o valor de $R^2(aj)$ é maior que 70%. E para o item 5, após os ajustes não foi identificado observações atípicas. Dessa forma, pode dizer que o modelo foi validado garantindo uma maior confiabilidade dos dados.

Figura 26 – Análise de variância (Modelo reduzido)

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	12	4,84387	0,40366	9,74	0,000
Linear	4	3,71557	0,92889	22,42	0,000
Tempo	1	0,09341	0,09341	2,25	0,143
Temperatura	1	3,34378	3,34378	80,71	0,000
Pressão	1	0,05335	0,05335	1,29	0,265
Lado	1	0,37128	0,37128	8,96	0,005
Interações de 2 fatores	6	0,49565	0,08261	1,99	0,096
Tempo*Temperatura	1	0,24758	0,24758	5,98	0,020
Tempo*Pressão	1	0,06364	0,06364	1,54	0,224
Tempo*Lado	1	0,00026	0,00026	0,01	0,938
Temperatura*Pressão	1	0,04403	0,04403	1,06	0,310
Temperatura*Lado	1	0,13659	0,13659	3,30	0,079
Pressão*Lado	1	0,01997	0,01997	0,48	0,493
Interações de 3 fatores	2	0,48511	0,24255	5,85	0,007
Tempo*Temperatura*Pressão	1	0,15087	0,15087	3,64	0,065
Tempo*Pressão*Lado	1	0,34653	0,34653	8,36	0,007
Erro	32	1,32571	0,04143		
Falta de ajuste	3	0,00639	0,00213	0,05	0,986
Erro Puro	29	1,31932	0,04549		
Total	44	6,16958			

Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 27 – Coeficientes codificados (Modelo reduzido)

Termo	Efeito	Coef	EP de Coef	Valor-T	Valor-P	VIF
Constante		1,5435		50,30	0,000	
Tempo	0,0922	0,0461	0,0307	1,50	0,143	1,02
Temperatura	0,5514	0,2757	0,0307	8,98	0,000	1,02
Pressão	-0,0696	-0,0348	0,0307	-1,13	0,265	1,02
Lado	0,1827	0,0913	0,0305	2,99	0,005	1,01
Tempo*Temperatura	-0,1500	-0,0750	0,0307	-2,44	0,020	1,02
Tempo*Pressão	-0,0761	-0,0380	0,0307	-1,24	0,224	1,02
Tempo*Lado	-0,0048	-0,0024	0,0306	-0,08	0,938	1,02
Temperatura*Pressão	-0,0633	-0,0316	0,0307	-1,03	0,310	1,02
Temperatura*Lado	-0,1111	-0,0555	0,0306	-1,82	0,079	1,02
Pressão*Lado	-0,0424	-0,0212	0,0305	-0,69	0,493	1,01
Tempo*Temperatura*Pressão	-0,1171	-0,0586	0,0307	-1,91	0,065	1,02
Tempo*Pressão*Lado	-0,1770	-0,0885	0,0306	-2,89	0,007	1,02

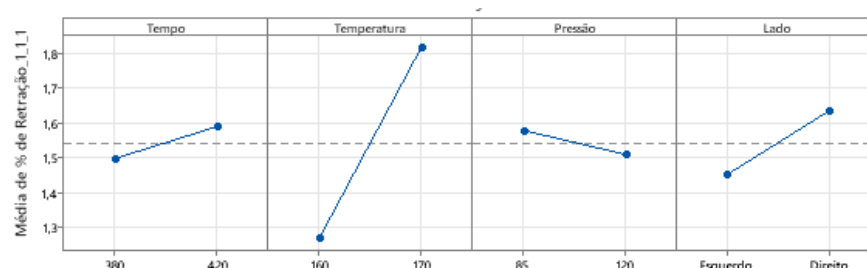
Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 28 – Teste de normalidade dos resíduos (Modelo reduzido)

Fonte: Autoria Própria (2023)

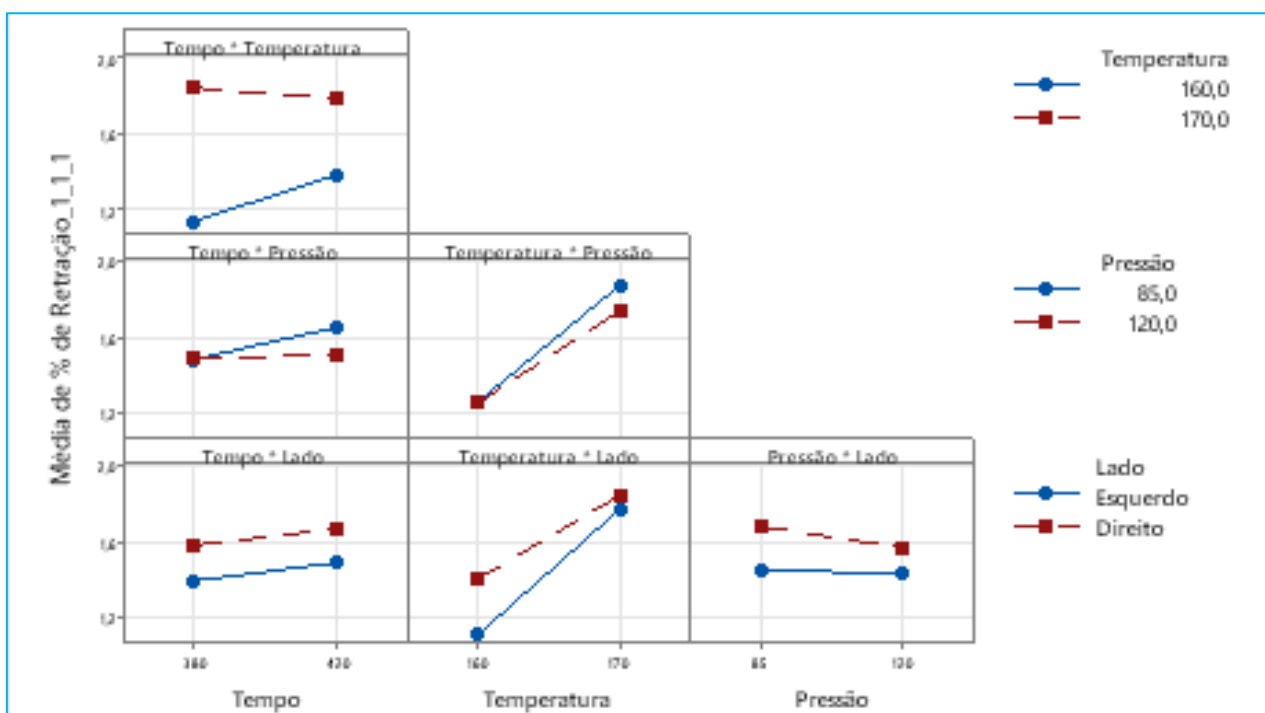
Sendo assim, após a validação do modelo foi realizada a análise gráfica das médias ajustadas e dos efeitos principais para a retração da sola (Figura 29 e 30). No gráfico quanto maior a inclinação, maior será a relevância dos níveis no resultado final. Desta forma, ficando mais uma vez evidente a forte influência da variável temperatura sobre a retração da sola, sugerindo uma futura maior avaliação e controle das temperaturas de vulcanização do processo.

Figura 29 – Efeitos principais - DOE (Design of experiments)



Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 30 – Interação entre os parâmetros - DOE (Design of experiments)



Fonte: Autoria Própria (2023)

Com base nas oportunidades de melhorias identificadas, o próximo passo foi utilizar a ferramenta dos 5 porquês, que consiste em perguntar 5 vezes o porquê de

um problema ou defeito ter ocorrido, a fim de descobrir a sua real causa, ou seja, a sua causa raiz.

Quadro 03 – 5 por quês

Causa primária	1º Por quê	2º Por quê	3º Por quê	4º Por quê	5º Por quê	Causa Raiz
Falha no método de pesagem das MP's fora do especificado	Há pesagem a mais ou há menos do que especifica na formulação	Os operadores fazem uso de uma tabela de tolerância de erro da balança	Tabela foi disponibilizada no setor como referência	A balança só lê o pesos em números pares, a partir de 2 gramas		A balança não é de alta precisão
Óleo da semifinal contaminado com água	Entrada de contaminado via tampa do reservatório danificada					Falta de manutenção no reservatório
Temperatura da Carga acima do especificado na SF E PL	Algumas cargas estão superaquecendo	O sistema de refrigeração não tem sido eficaz na refrigeração do Banbury	O sistema de refrigeração não identifica o aquecimento fora do especificado			O sistema de refrigeração não identifica o aquecimento fora do especificado
Falha na leitura das balanças SF(Erro de tolerância)	É uma característica da balança o erro de tolerância, conforme tabela disponível do Imetro					É uma característica da balança o erro de tolerância, conforme tabela disponível do Imetro
Uso de residuo processado fora do especificado	Produção utiliza os mesmos parâmetros para processamento de carga	Não foi disponibilizado PCE de processamento pelo setor responsável				Falta de definição dos parâmetros pelo setor responsável
Variação na temperatura dos moldes	Temperatura real diferente da temperatura do visor	Erro na leitura dos termopares	Deltas de leitura sem calibração			Atividade de calibração de deltas da leitura dos moldes não consta na manutenção programada

Fonte: Autoria Própria (2023)

4.4 MELHORAR

4.4.1 Plano de ação para as causas raízes

Nesta etapa, após as identificações de algumas causas raízes, para cada uma delas houve a implementação de ações, a fim de melhorar o processo. Até o final projeto as ações levantadas estavam com os seguintes status:

Quadro 04 – Ações de melhorias

Causa raiz	AÇÕES	Área	Status
Uso de balanças com pouca precisão do peso	Alinhar com produção que a pesagem não possui tolerância e o peso é exato NA SF, exceto para expansor	Laboratório	Concluído
Sistema de refrigeração superaquecido	Avaliar compra de medidor de controle de temperaturas das cargas de SF e PL	Lab/Qual	Concluído
Balanças sem calibração	Revisar IT da pesagem da SF E PL referente a pesagem dos compostos garantindo a pesagem exata dos compostos	Industrial	Concluído
Sistema de refrigeração superaquecido	Realizar inspeção técnica do sistema de refrigeração do Banbury e PL	Manutenção	Concluído
Falta de parametrização no processamento de resíduos	Parametrizar o processamento de resíduos na PL1 –Substituição da PL1	Laboratório	Concluído
Balanças sem calibração	Verificar cronograma da calibração das balanças da produção	Produção	Concluído
Uso de balanças com pouca precisão do peso	Avaliar uso de balanças que pese a partir de 1g	Lab/Qual	Concluído
Variação na temperatura dos moldes	Realizar ajustes do Deltas da temperatura real x molde da injetora 07 e incluir na manutenção preventiva	Manutenção	Concluído
Falha na manutenção do reservatório de óleo da Semifinal	Realizar a descontaminação do óleo por água e inclusão na lista de atividades da manutenção do reservatório de óleo da semifinal	Manutenção	Concluído
Falha no sistema de medição	Treinamento e alinhamento no método de medição dos inspetores		
Rastreabilidade de processo	Implementação da Carta controle de dureza para aprofundamento de análises	Lab/Qual	Concluído
Rastreabilidade de processo	Implementar auxílio visual com a identificação do número de moldes e numeração nas estações para auxílio no preenchimento da carta controle e rastreabilidade na identificação de desvios	Industrial	Concluído

Fonte: Autoria Própria (2023)

4.5 CONTROLAR

4.5.1 Comparativo de capacidade do processo melhorado X baseline

Nesta etapa do DMAIC serão avaliados os resultados obtidos e a performance do processo após a implementação das ações e o alcance da meta em larga escala. Abaixo verificamos a Baseline do projeto (Figura 31).

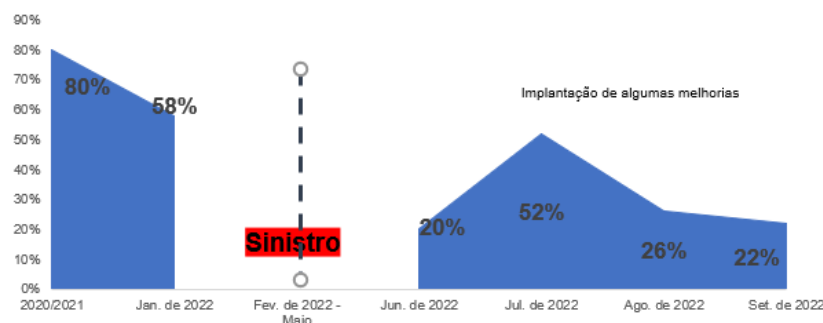
Antes do início do projeto, o índice de não conformidades do dimensional das solas giravam em torno de 80%. Em janeiro naturalmente houve uma queda das não conformidades, devido uma perda no volume de produção.

Em fevereiro e março a inspeção deixou de ser realizada devido ao local de produção ser acometido por sinistro de grande proporção, impossibilitando o processo de medição das solas.

Somente em abril, já com ações de melhorias implementadas, o processo de fabricação de sola retornou, sendo possível observar uma melhoria significativa no

número de não conformidades, chegando em setembro com um valor em torno de 22% de não conformidades, ou seja, uma redução maior que 30% comparado ao marco inicial do projeto.

Figura 31 – Baseline do % de reprovação fora do especificado

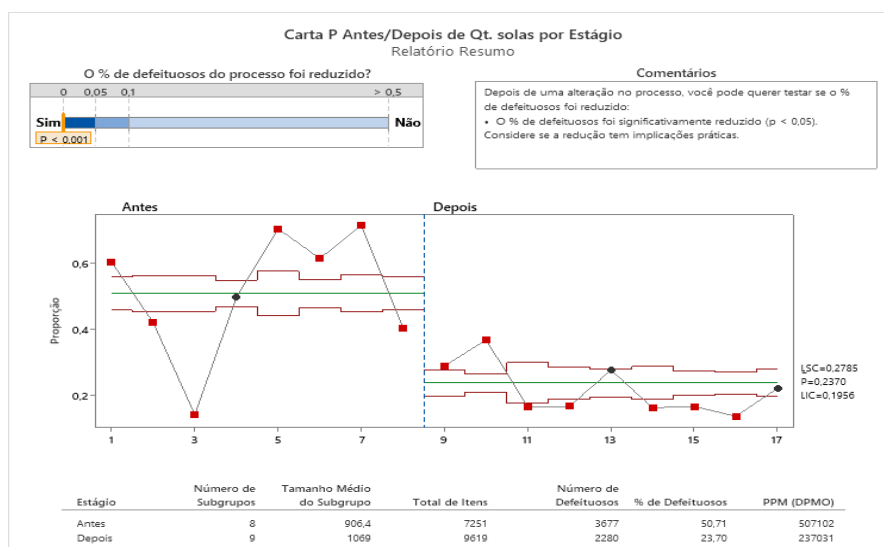


Fonte: Autoria Própria (2023)

Complementando sobre a inspeção dimensional após as melhorias, foi possível observar na Figura 32, ainda uma instabilidade no processo evidenciado pelos picos fora dos limites de controle, o que evidência as ocorrências de solas fora do padrão, também presentes no estágio “antes”, abrindo ainda um leque de oportunidades de melhorias.

Porém, mesmo com essa instabilidade, houve uma redução significativa na média das ocorrências, partindo de um percentual acumulado de 50,71% para 23,70%, indicando uma evolução positiva na capacidade do processo.

Figura 32 – Carta P do % de Reprovação das solas (Antes X Depois) das melhorias



Fonte: Autoria Própria (2023)

4.5.2 Plano de controle para sustentabilidade de melhorias

Para garantir que as melhorias sejam mantidas ao longo, segue a proposta de implementação no processo para plano de controle:

- Elaboração de cronograma de Treinamento e reciclagem de mão de obra para o método de medição das solas;
- Inclusão na lista de atividades de manutenção preventiva a checagem e regulagem dos deltas de temperatura do molde das máquinas de injeção;
- Implementação e avaliação da carta controle das temperaturas do molde discutindo os pontos fora dos limites gráficos;
- Implementação e avaliação da carta controle de dureza da sola discutindo os pontos fora dos limites gráficos;
- Implementação de controle de calibração das balanças de pesagem a cada 3 meses;
- Realização de auditorias de processo para checagem do cumprimento dos itens anteriores.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo geral minimizar o número de não conformidades de solas de borracha por tamanho menor que o especificado de uma indústria fabricante de sandálias e calçados através da implantação da metodologia Lean Seis Sigma e com o objetivo específico, reduzir a no mínimo 30% o número de Não Conformidades (NC) nas inspeções de tamanho.

Ao longo do estudo, os processos de semifinal, peletização e injeção de borracha expandido foram detalhados, proporcionando um reconhecimento do cenário fabril antes da aplicação do método. As falhas de processos e suas principais causas raízes foram identificadas com embasamento geral em conceitos de qualidade, sendo realizado por fim o monitoramento da melhoria contínua através do indicador de inspeção de tamanho do produto.

Conforme os resultados já descritos anteriormente, foi possível responder ao problema de pesquisa a partir dos resultados obtidos, superando a meta de chegar a 30% no número de NC's, obtendo-se como resultado o percentual em torno de 22% no último mês mapeado. Isso equivale a uma redução de cerca de 50% do valor total de NCs, um cenário bastante positivo em termos tanto quantitativos quanto qualitativos.

Do que foi observado até o momento, com a aplicação da metodologia em um estudo de caso real, o método utilizado mostrou-se satisfatório ainda que existam oportunidades de melhoria para uma maior estabilidade do processo. Logo, visto que o DMAIC possui etapas bem definidas, corroborou para uma divisão do trabalho com maior lógica e coerência.

Sendo assim, na fase de definição, foi possível reconhecer o problema. Já a fase de medir proporcionou mensurar a dimensão do problema para então realizar a análise dos dados coletados realizados na fase analisar. Com o mapeamento feito, causas identificadas e validadas, as ações propostas de melhorias foram colocadas em prática na etapa melhorar. E na medida em que essas ações foram sendo realizadas, os resultados foram sendo monitorados na etapa de controle, de forma a garantir a melhoria contínua.

Em resumo, o projeto foi classificado com soft, em razão que os ganhos qualitativos são mais representativos do que os quantitativos. Desta forma, os benefícios qualitativos foram:

- Melhor percepção da marca no mercado interno e externo quanto ao dimensional e calçabilidade;
- Redução no % de trocas por problemas de dimensional, maior ofensor do e-commerce;
- Redução no custo das trocas por problemas de dimensional;
- Melhoria no índice de aprovações na auditoria do estoque;
- Redução de retrabalho quanto a reposição de calçados fora do especificado

Embora um resultado satisfatório tenha sido alcançado, para execução deste trabalho existiram algumas limitações importantes, sendo as principais delas:

- Baixa disponibilidade de recursos para aquisição de instrumento de medição de maior precisão para coleta de dados amostrais.
- Dados de medição não contínuos;
- Baixa disponibilidade de maquinário para realização de testes de correlação de parâmetros e ensaios de DOE;
- Alto *lead time* nas execuções das ações de melhoria x prazo de entrega do projeto

Diante disso, ainda existem muitas oportunidades de melhorias, que podem ser realizadas em trabalhos complementares e de aprofundamento. Como propostas para estes futuros trabalhos, a aquisição de um paquímetro como instrumento de medição, melhorando a leitura e ofertando uma maior precisão e assertividade do tamanho dos calçados. Outra sugestão, é a realização de mais ensaios de DOE, a fim de avaliar a interação de outros parâmetros de controle ou fatores existentes no processo que possam influenciar na taxa de retração do calçado. Além destas, existe a oportunidade de estudar com refino, as propriedades das matérias primas, suas características, proporções, funções e especificações, avaliando suas variações com o comportamento de retração dos calçados.

REFERÊNCIAS

ABICALÇADOS. **Relatório setorial indústria de calçados**. Disponível em: <https://www.abicalcados.com.br/publicacoes>. Acesso em: 09 out. 2024.

ALMEIDA, F. A. **Análise multivariada do sistema de medição de um processo de solda a ponto por resistência elétrica utilizando componentes principais ponderados**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Engenharia de Produção e Gestão, Universidade Federal de Itajubá, Brasil, 2017. Disponível em: https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/bitstream/123456789/671/1/dissertacao_almeida_2017.pdf. Acesso em: 19 abr. 2024.

ANTONY, J. et al. **Seis sigma na saúde: uma revisão sistemática da literatura**. *Jornal Internacional de Gestão de Qualidade e Confiabilidade*, Bingley, v. 5, p. 1075-1092, 2018. DOI: 10.1108/IJQRM-02-2017-0027. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/318876629_Six_Sigma_in_Healthcare_A_Systematic_Review_of_the_Literature. Acesso em: 20 mar. 2024.

CAMPOS, M. **Métodos Estocásticos da Engenharia III. Controle Estatístico de Processos: Cartas de Controle**. P, p. 39, 2019. Disponível em: https://professor.ufop.br/sites/default/files/magno/files/capitulo_3_-_cep_0.pdf. Acesso em: out. 2024.

CAULCUTT, R. Why is six sigma so successful? Iowa City. **Journal of Applied Statistics**, v. 28, n. 3/4, p. 301-306, 2001.

CHEIN, F. **Introdução aos modelos de Regressão Linear**. ENAP. Brasília, 2019. Disponível em: https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/4788/1/Livro_Regress%C3%A3o%20Linear.pdf. Acesso em: 03 out. 2024.

ERBIYIK, H; SARU, M. **Six Sigma Implementations in Supply Chain: An Application for an Automotive Subsidiary Industry in Bursa in Turkey**. 2015 DOI:10.1016/j.sbspro.2015.06.447 Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/282556804_Six_Sigma_Implementations_in_Supply_Chain_An_Application_for_an_Automotive_Subsidiary_Industry_in_Bursa_in_Turkey. p. 2557. Acesso em: 10 jun. 2024.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991. Disponível em: https://www.academia.edu/download/31031805/9482_lista_de_revisao_1%C3%82%C2%BA_bimestre_com_respostas_direito.pdf. Acesso em: 25 fev. 2024.

IQA. **Análise de sistemas de medição – MSA, Manual de referência Instituto da Qualidade Automotiva**. 2. ed., São Paulo: IQA, 2004.

ISO 9001: 2015. **Conselho Federal de Contabilidade**. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/8364638/mod_resource/content/1/nbriso9001.pdf Acesso em: 08 jul. 2024.

KARAPETROVIC, S.; WILLBORN, W. Integration of quality and environmental management systems. **The TQM Magazine**, v. 10, n. 3, p. 204-213, 1998. Disponível em:

<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/09544789810214800/full/html>. Acesso em 26 out. 2024.

LABDGE. **Avaliação de Sistemas de Medição/Inspeção (MSA)**. Disponível em: <https://labdge.uff.br/avaliacao-de-sistemas-de-medicao-inspecao-msa/>. Acesso em: 17 mar. 2024.

LABELO. **Análise de Sistema de Medição (MSA)**, 2020. Disponível em: <https://www.pucrs.br/labelo/analise-de-sistema-de-medicao-msa/>. Acesso em: 17 mar. 2024.

LOBO, R; SILVA, D. **Gestão da Qualidade: Diretrizes, Ferramentas, Métodos e Normatização**. Editora Érica, p.55, 2019.

LOPES, R. **Integração do Lean Six Sigma na indústria 4.0 visando a excelência operacional**, 2013. Disponível em: <https://revistaft.com.br/integracao-do-lean-six-sigma-na-industria-4-0-visando-a-excelencia-operacional/>. Acesso em: 25 out. 2024.

MENEZES, F. **MSA – Análise do Sistema de Medição**. ABDI. Porto Alegre, 2013.

NASCIMENTO, F. **Metodologia da Pesquisa Científica: teoria e prática – como elaborar TCC**. Brasília: Thesaurus, 2016. Disponível em: https://www.academia.edu/45150110/Classifica%C3%A7%C3%A3o_da_Pesquisa_Natureza_m%C3%A9todo_ou_abordagem_metodol%C3%B3gica_objetivos_e_procedimentos?from_sitemaps=true&version=2. Acesso em: 28 out. 2024.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

PEPPER, M. P. J; SPEDDING, T. A. The evolution of lean six sigma. **The International Journal of Quality and Reliability Management**, v. 27, n. 2, p. 138-155, 2010.

PERUCHI, R. S. et al. Integrating Multivariate Statistical Analysis into Six Sigma DMAIC Projects: A Case Study on AISI 52100 Hardened Steel Turning. **IEEE Access**, v. 8, p. 34246–34255, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2973172. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/339130718_Integrating_Multivariate_Statistical_Analysis_Into_Six_Sigma_DMAIC_Projects_A_Case_Study_on_AISI_52100_Hardened_Steel_Turning Acesso em: 3 fev. 2024.

PFEIFER, T; REISSIGER, W; CANALES, C. Integrating six sigma with quality management systems. **The TQM Magazine**, v. 16, n. 4, p. 241-249, 2004.

QUELHAS, O.; ALVES, M.; FILARDO, P. As práticas da gestão da segurança em obras de pequeno porte: Integração com os conceitos de sustentabilidade. **Revista Produção Online**, [S. l.], v. 4, n. 2, 2004. DOI: 10.14488/1676-1901.v4i2.309.

Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/309>. Acesso em: 26 out. 2024.

RANGA, S. et al. A Review on Design of Experiments (DOE). **International Journal of Pharmaceutical and Chemical Sciences**, Dez. 2013. Disponível em: <http://ijrrpas.com/sites/default/files/2019-05/Sonam%20Ranga%20et%20al%2C%20IJRRPAS%2C%202013%2C%20Dec%2C%203%286%29867-882.pdf>. Acesso em: 27 out. 2024.

ROTONDARO, Roberto G. (Coord.) et al. **Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. São Paulo: Atlas, 2002.

MINITAB, LLC (2021). **Tipos de análises de regressão**. Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/help-and-how-to/statistical-modeling/regression/supporting-topics/basics/types-of-regression-analyses/>. Acesso em: 03 out. 2024.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

STOCK, J. H.; WATSON, M. W. **Introduction to Econometrics**. 3. ed. Addison-Wesley Series in Economics, v. 1. Addison-Wesley, 2010.

WERKEMA, C. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.